

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Přepočet příhradového trémového mostu, Strečno, Slovensko

Re-design of lattice beam bridge structure in Strečno, Slovak Republic

Študent:

Miroslav Kysela

Vedúci bakalárskej práce:

Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Miroslav Kysela**

Studijní program: B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607R037 Konstrukce staveb

Téma: **Přepočet příhradového trémového mostu, Strečno, Slovensko**
Re-design of lattice beam bridge structure in Strečno, Slovak Republic

Jazyk vypracování: slovenština

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce vypracujte:

1. Teoretický rozbor ocelových příhradových mostů pro železniční dopravu, konstrukční uspořádání, detaily, přípoje, specifikace návrhu.
2. Možnosti rekonstrukcí ocelových mostů, zesilování konstrukcí, ochrana.
3. Prohlídka a zaměření stávající konstrukce mostu, vyhotovení základní dokumentace současného stavu (příčný řez, pohled, současný stav, měření korozních úbytků).
4. Předběžné (ruční) posouzení hlavních nosných prvků mostu.
5. Statický výpočet rozhodujících nosných prvků a ztužení konstrukce.
6. Návrh a posouzení vybraných spojů.
7. Doporučení pro zachování životnosti konstrukce, další doporučení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí.
- [2] ČSN EN 1991-2: Zatížení konstrukcí. Část 1: Zatížení mostů dopravou.
- [3] ČSN EN 1993-1-1: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [4] ČSN EN 1993-2 (736205) - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 2: Ocelové mosty
- [5] ČSN EN 1993-1-8: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků. Praha : ČNI, 2006.
- [6] ČSN 73 6201 – Projektování mostních objektů.
- [7] Rotter, T., Studnička, J.: Ocelové konstrukce 30 – Ocelové mosty, Praha, 1999
- [8] Tomica, V., Bujňák, J., Vičan, J.: Kovové mosty, Žilina, 1992
- [9] Faltus, F.: Ocelové mosty příhradové, obloukové a visuté. Academia Praha 1971
- [10] "Structural Steel Designer's Handbook" by R. L. Brockenbrough, P.E. & F. S. Merritt, P.E. 3rd edition, Section 14: Arch Bridges by Arthur W. Hedgren, Jr., P.E., Sr. Vice President, HDR Engineering, Inc., Pittsburgh, PA., Published by McGraw-Hill, Inc.
- [11] Sukhen Chatterjee: The Design of Modern Steel Bridges, Second edition, Oxford 2003, ISBN 0-632-05511-1
- [12] Odborné časopisy – Konstrukce, Stavitel, Structural Engineering, Stahlbau
- [13] Internet

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016



doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som celú bakalársku prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením Ing. Miroslava Rosmanita, Ph.D. a uviedol som všetky použité zdroje a literatúru.

V Ostrave 2.5.2016

.....

podpis študenta

Prehlasujem, že

- som bol oboznámený s tým, že na moju bakalársku prácu sa vzťahuje zákon 121/2000 Zb. - autorský zákon, najmä § 35 – použitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a použitie diela školského § 60- školské dielo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo neziskovo pre svoje vnútorné potreby bakalársku prácu použiť (§ 35 odst.3).
- súhlasím s tým, že údaje o bakalárskej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- bolo dojednané, že s VŠB-TUO , v prípade záujmu z jej strany, uzatvorím licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bolo dojednané, že použiť svoje dielo – bakalársku prácu alebo poskytnúť licenciu na jej použitie môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takom prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na uhradenie nákladov, ktoré boli VŠB-TUO vynaložené (až do ich skutočnej výšky).
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č.111/198 Zb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave 2.5.2016

.....
podpis študenta

Pod'akovanie

Touto cestou by som sa chcel pod'akovať Ing. Miroslavi Rosmanitovi, Ph.D. za odborné rady, pripomienky, skvelý prístup a vecné konzultácie, ktoré mi pomohli pri vypracovaní predloženej bakalárskej práce, taktiež Ing. Dávidovi Mikoláškoví za pomoc, rady a konzultácie pri tvorbe priestorového modelu.

Anotácia

KYSELA, Miroslav. *Přepočet příhradového trémového mostu, Strečno, Slovensko*. Ostrava, 2016. Bakalárska práca. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 111 s. Vedúci bakalárskej práce Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

Cieľom bakalárskej práce je prepočet priehradového oceľového železničného mostu s prvkovou mostovkou. Práca obsahuje zistenie skutočného stavu konštrukcie a analýza na základe získanej výkresovej dokumentácie. Statický výpočet sa skladá z dvoch častí, predbežného ručného riešenia a detailného priestorového modelu s posudkom hlavných prvkov konštrukcie. Práca zahŕňa aj teoretickú časť zameranú na rekonštrukciu oceľových mostov a následne návrh zmien a doporučení vyplývajúcich zo statického výpočtu pre zachovanie životnosti konštrukcie.

Kľúčové slová

Oceľová konštrukcia, priehradový železničný most, statický posudok, rekonštrukcia

Annotation

Re-design of steel truss railroad bridge with transverse and longitudinal beams is the aim of this bachelor thesis. The thesis contains analysis of real structure on the basis of the drawing documentation. The static design consists of basic pre-design and full static design based on detailed spatial model with static report of the main elements of the structure. The work also includes theoretical part about the reconstruction of this steel bridge and some changes and recommendations for long life based on previous static analysis.

Key words

Steel structure, truss railroad bridge, static analysis, reconstruction

OBSAH

Zoznam použitého značenia.....	10
1 ÚVOD	12
2 Teoretický rozbor priehradových mostných konštrukcií	13
2.1 Úvod do problematiky	13
2.2 Priestorové usporiadanie železničných mostných konštrukcií	14
2.3 Mostovka	15
2.4 Typy konštrukčných riešení pre prvkovú mostovku	17
2.5 Ložiská.....	18
2.6 Popis hlavných častí konštrukcie.....	20
3 Možnosti rekonštrukcie oceľových mostov [3]	24
3.1 Najčastejšie poruchy mostov a ich príčiny	24
3.2 Korózia kovových častí mostov	24
3.3 Najčastejšie poruchy mostov a ich príčiny	26
4 Prehliadka a zameranie konštrukcie.....	31
4.1 Charakteristika mostu	31
4.2 Zameranie stávajúcej konštrukcie	33
4.3 Získané dimenzie prvkov.....	34
5 Predbežné ručné posúdenie hlavných prvkov konštrukcie	35
5.1 Stále zaťaženie.....	35
5.2 Zaťaženie od dopravy	35
5.3 Zaťaženie vetrom.....	44
5.4 Ručný výpočet prvkov mostovky	50
5.5 Ručný výpočet hlavného nosníka	59
5.6 Posudok vybraných prútov hlavného nosníka	70
6 Globálna analýza priehradového mostu pomocou priestorového modelu	80
6.1 Tvorba modelu.....	81

6.2	Zaťaženie a jeho kombinácie.....	83
6.3	Výpočet priestorového modelu.....	84
6.4	Posudok prvkov na vnútorné sily získane globálnou analýzou.....	86
6.5	Zhrnutie výpočtu.....	88
7	Posúdenie vybraných spojov.....	89
7.1	Priečnik.....	90
7.2	Pozdĺžnik	97
7.3	Zhrnutie posudku.....	102
8	Odporúčania pre zachovanie životnosti konštrukcie	103
9	Záver	106
	Zoznam obrázkov.....	107
	Zoznam tabuliek.....	109
	Zoznam použitej literatúry	111
	Prílohy.....	112

ZOZNAM POUŽITÉHO ZNAČENIA

A	plocha prierezu	$[\text{mm}^2]$
A_{net}	oslabená plocha prierezu	$[\text{mm}^2]$
A_s	plocha jadra skrutky	$[\text{mm}^2]$
F	zaťažovacia sila	$[\text{kN}]$
$F_{b,Rd}$	odolnosť spojovacieho materiálu v otláčení	$[\text{kN}]$
$F_{v,Rd}$	odolnosť spojovacieho materiálu v strihu	$[\text{kN}]$
I_y, I_z	moment zotrvačnosti prierezu k ose y a z	$[\text{mm}^4]$
I_t	moment zotrvačnosti v jednoduchom krútení	$[\text{mm}^4]$
I_w	výsečový moment zotrvačnosti	$[\text{mm}^6]$
L	rozpätie poľa	$[\text{m}]$
M_y	ohybový moment	$[\text{kNm}]$
M_{Ed}	návrhová hodnota ohybového momentu	$[\text{kNm}]$
M_{cr}	pružný kritický moment pri strate priečnej a torznej stability	$[\text{kNm}]$
$M_{pl,Rd}$	návrhový plastický ohybový moment únosnosti prierezu	$[\text{kNm}]$
N_{cr}	kritická hodnota normálovej sily pri vzpere	$[\text{kN}]$
N_{Ed}	návrhová hodnota osovej sily	$[\text{kN}]$
N_{Rd}	návrhová hodnota únosnosti v ťahu	$[\text{kN}]$
P	osamelá sila pri ručnom výpočte	$[\text{kN}]$
Q_{tk}	charakteristická hodnota odstredivej sily	$[\text{kN}]$
Q_{td}	návrhová hodnota odstredivej sily	$[\text{kN}]$
V_{Ed}	návrhová hodnota posúvajúcej sily	$[\text{kN}]$
V_{Rd}	návrhová únosnosť vo šmyku	$[\text{kN}]$
$W_{pl,y}, W_{pl,z}$	plastický prierezový modul k osi y a z	$[\text{mm}^3]$
W_y, W_z	pružný prierezový modul k osi y a z	$[\text{mm}^3]$

d	priemer skrutky	[mm]
d_0	priemer otvoru	[mm]
f_y	medza klzu ocele	[MPa]
f_u	medza pevnosti ocele	[MPa]
g	hodnota zaťaženia	[kN/m], [kN/m ²]
k	konštanta tuhosti;	[N/mm]
m	celková hmotnosť kmitajúcej časti lávky	[kg]
t_f	hrúbka pásnice valcovaného prierezu	[mm]
t_w	hrúbka stojiny valcovaného prierezu	[mm]
γ_{M0}	čiastkový súčiniteľ únosnosti prierezu ľubovoľnej triedy	
γ_{M2}	čiastkový súčiniteľ únosnosti prierezu	
κ_{wt}	parameter krútenia	
λ	štíhlosť	
$\bar{\lambda}$	pomerná štíhlosť	
μ_{cr}	bezrozmerný kritický moment	
χ_{LT}	súčiniteľ klopenia	

Ďalšie značky sú definované pri prvom výskyte.

Značky v tejto práci môžu mať viac významov.

1 ÚVOD

Cieľom bakalárskej práce je prepočet priehradového železničného mostu, posúdenie vybraných častí nosnej konštrukcie a vytvorenie funkčného priestorového modelu v softvéri využívajúcom metódu konečných prvkov. Po následnom statickom posúdení konštrukcie navrhnutie opatrení na predĺženie životnosti a prípadne obnovu alebo prestavbu nevyhovujúcich prvkov.

Práca je rozdelená do niekoľkých častí. Začína teoretickým uvedením do problematiky priehradových oceľových mostov a popisuje hlavné aj podružné časti konštrukcie. Potom nasleduje oboznámenie sa s degradáciou konštrukcie vplyvom okolitého prostredia a možnosti obnovy a rekonštrukcie oceľových mostov. V časti prehliadka a zameranie konštrukcie sa popisuje postup pri meraní profilov ultrazvukovým prístrojom a získanie ich dimenzií. Nasleduje ručný výpočet a posudok hlavných prvkov mosta, objasnenie metodiky ručného výpočtu a porovnanie s metódou vplyvových čiar. Tvorba priestorového modelu je v samostatnej kapitole, kde je podrobne vysvetlený postup modelovania, jeho úskalia a dosiahnuté výsledky. Súčasťou rozboru je aj posúdenie vybraného detailu prípoja pozdĺžnika na priečnik, tvorba výkresovej dokumentácie vyšetrovaných častí a konštrukcie mosta. Záver práce tvoria odporúčania a návrhy na čiastočnú rekonštrukciu, ktoré boli zistené pri statickej analýze pre obnovu a zachovanie životnosti konštrukcie.

2 TEORETICKÝ ROZBOR PRIEHRADOVÝCH MOSTNÝCH KONŠTRUKCIÍ

2.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Priehradové mosty sa vyvinuli z plnostenných mostov väčších rozpätí, ktorých veľká výška hlavných nosníkov výrazne zvyšovala ich hmotnosť, a preto sa stena nahradila mrežou z diagonál a zvislíc. Tým vznikla priehradová konštrukcia, ktorá bola výrazne ľahšia a s nižšou spotrebou materiálu.

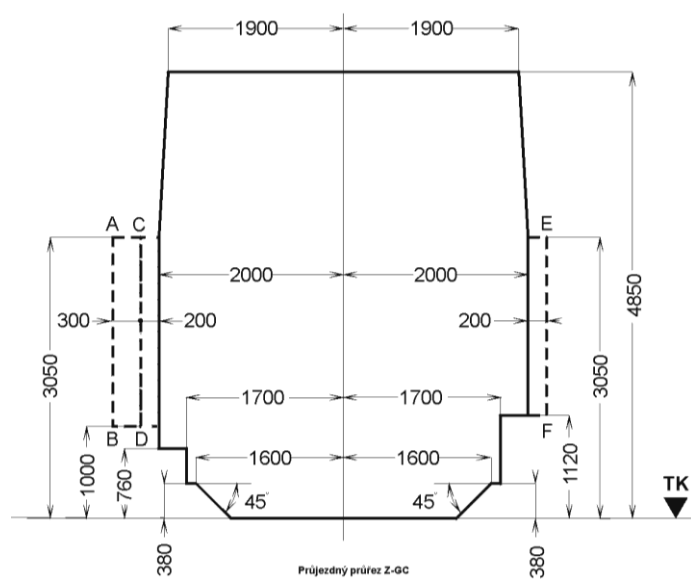
Priehradové mosty sú nenáročné na prepravu a montáž a našli uplatnenie aj pri premostovaní malých prekážok. V súčasnej dobe sa používajú najmä na premostenie prekážok o svetlosti 40 až 80 metrov. V našich podmienkach sa uplatňujú hlavne na dráhových komunikáciách ako železničné mosty. S dolnou mostovkou predstavujú konštrukčný systém s bezkonkurenčnou stavebnou výškou pre stredné rozpätia. Od rozpätia 60 metrov im konkurujú nepravé oblúky v podobe Langerových trémov.

Priehradové mosty predstavujú ľahkú konštrukciu s nízkou spotrebou materiálu, ich nevýhoda je v komplikovanejšej údržbe najmä pri nosníkoch zložitých sústav s veľkým počtom prútov. Neodporúča sa ich použiť v mestskom prostredí, kde pôsobia architektonicky nevhodne. Pre väčšie rozpätia sa na vystihnutie priebehu ohybových momentov uplatňovali nosníky so zakrivenými parabolickými pásmi, neskôr boli však nahradené priamo-pásovými. V ďalšom vývoji sa dospelo k jednoduchým zvislicovým aj bezzvislicovým sústavám so snahou minimalizovať počty prútov stretávajúcich sa v jednom uzle kvôli jednoduchšej údržbe.[1]

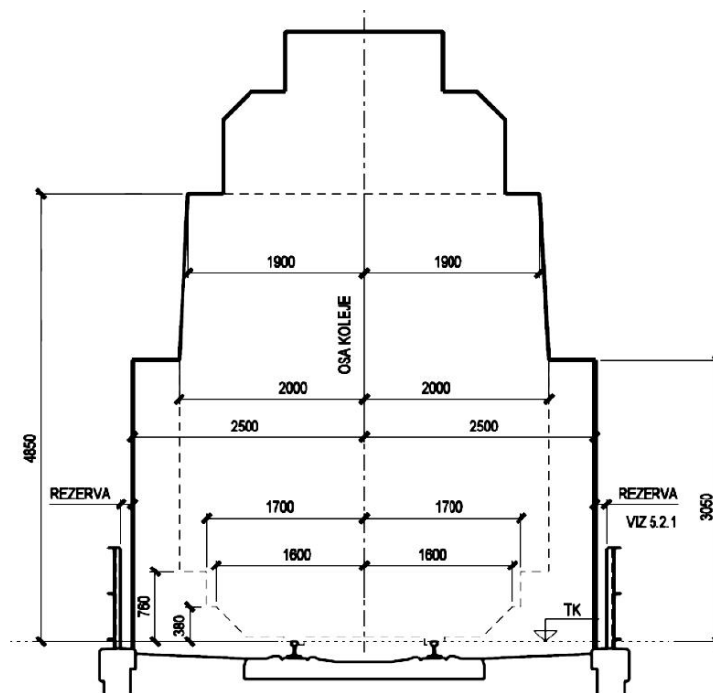
2.2 PRIESTOROVÉ USPORIADANIE ŽELEZNIČNÝCH MOSTNÝCH KONŠTRUKCIÍ

Voľný mostný priestor zaisťuje priechodnosť koľajových vozidiel, priestor pre koľajové vedenie na elektrifikovaných tratiach.

Voľný mostný prierez (obr. 2-2) vždy kolmý k osi koľaje vznikne zjednotením prejazdného prierezu Z-GC (obr. 2-1), nadstavená o plochu pre elektrizované trate a postrannej bezpečnostnej plochy.



obr. 2-1 Z-GC



obr. 2-2 VMP

2.3 MOSTOVKA

Je časť konštrukcie ktorá prenáša účinky zaťaženia od železničného zvršku do hlavnej nosnej konštrukcie. Poznáme viac typov mostoviek.

2.3.1 Rozdelenie podľa polohy k nosnej konštrukcii:

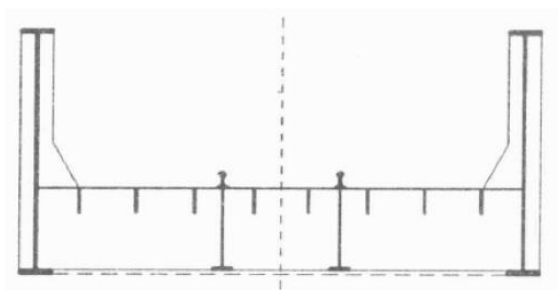
Horná mostovka – umiestnená na úrovni horných pásov, príp. vzoprená, ktorá je pomocou vzpier na hlavnej nosnej konštrukcii. [4]

Medziľahlá mostovka – umiestnená medzi hornými a dolnými pásmi hlavných nosníkov. [4]

Dolná mostovka – umiestnená v úrovni dolných pásov nosníkov, príp. zavesená na hlavnej nosnej konštrukcii. [4]

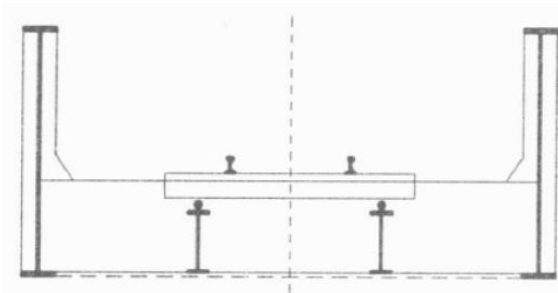
2.3.2 Rozdelenie podľa konštrukcie mostovky

Priamo uložené koľaje – koľajnice sú uložené priamo na priečnikoch (obr. 2-3), tento spôsob uloženia je veľmi nevhodný z hľadiska dynamických účinkov a v súčasnosti sa nepoužíva.



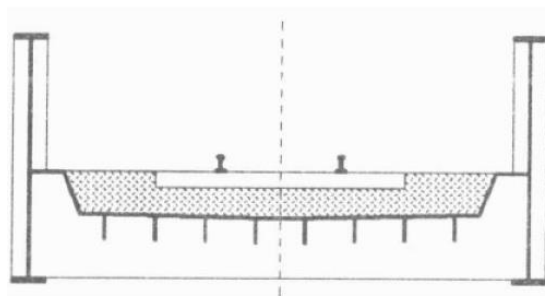
obr. 2-3 Priama mostovka

Prvková mostovka – koľajnice sú uložené na mostniciach a tie na pozdĺžnikoch (obr. 2-4). Toto uloženie je vhodnejšie a najčastejšie používané. V dnešnej dobe avšak nevyhovuje pre vysokorýchlostné trate a rýchlosť sa zvýšila na 160 km/h. [3]



obr. 2-4 Prvková mostovka

Mostovka s koľajovým lôžkom – je najvhodnejším riešením z hľadiska železničnej dopravy. Z konštrukčného hľadiska sa jedná o najnáročnejšiu variantu mostovky. Pražce sú uložené v štrkovom lôžku (obr. 2-5) tak ako na širšej trati a podložie neprechádza takou zmenou tuhosti ako je to pri prvkovej a priamej mostovke.

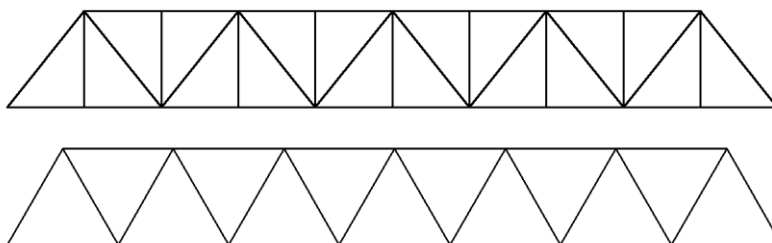


obr. 2-5 Mostovka s koľajovým lôžkom

2.4 TYPY KONŠTRUKČNÝCH RIEŠENÍ PRE PRVKOVÚ MOSTOVKU

2.4.1 Rozdelenie podľa geometrie hlavného nosníku

Poznáme dve základne sústavy uvedené na (obr. 2-6). Zvislicová sústava bola používaná prvá, zvislice boli navrhované ako podružné prvky na skrátenie vzpernej vzdialenosti horného pásu. Neskôr sa z nej vyvinula bezzvislicová sústava, v ktorej sa odstránili zvislice kvôli zníženiu počtu prvkov pripájaných v jednom uzle a zväčšil sa uhol diagonál na 60° .

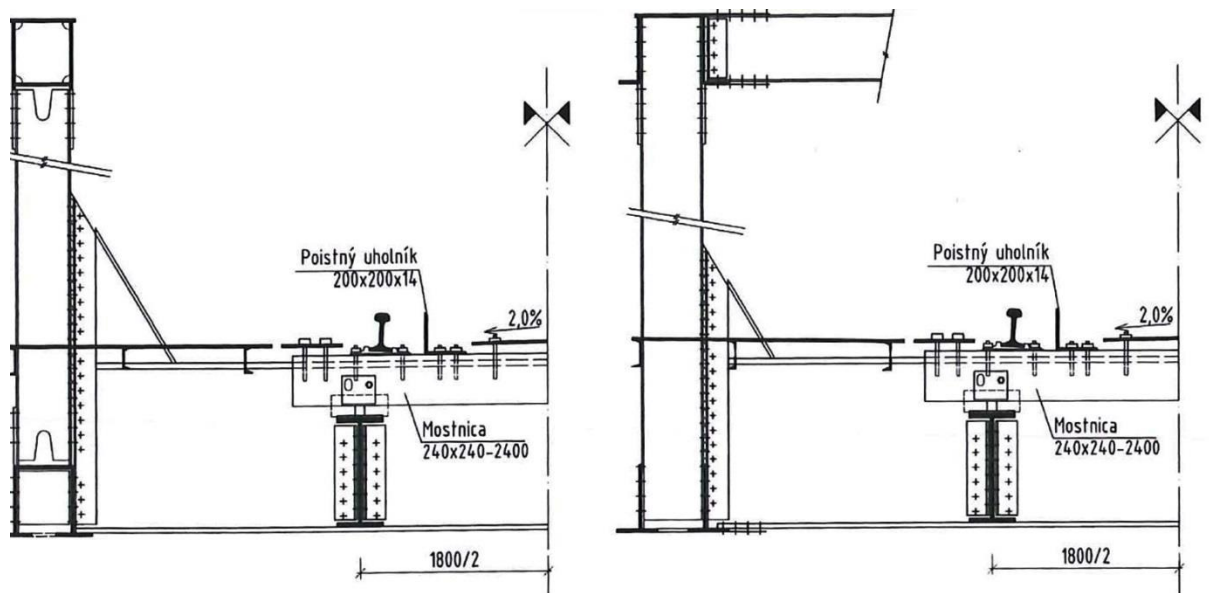


obr. 2-6 Zhora zvislicová a bezzvislicová sústava

2.4.2 Rozdelenie podľa priestorového usporiadania

Priehradové mosty sa navrhujú s optimálnou výškou hlavného nosníka v rozsahu $(1/8 - 1/90)L$. Na (obr. 2-7) sú príklady dvoch typov prevedení priehradových mostov s prvkovou mostovkou. Na ľavo je starší typ konštrukcie bez horného zavetrenia a s horným pásom z uzavretých profilov, ktoré sa navrhovali do 80. rokov 20. storočia. [1] V pravo je

konštrukčné riešenie s horným zavetrovaním, ktoré stabilizovalo horné tlačené pásy a bolo staticky výhodnejšie.



obr. 2-7 Typické priečne rezy [1]

2.5 LOŽISKÁ

Ložiská ktoré prenášajú sú prvky zaťaženie z nosnej konštrukcie do spodnej stavby a umožňujú posun príp. pootočené.

2.5.1 Delenie z konštrukčného hľadiska

- elastomerové
- hrncové
- kalotové
- oceľové

2.5.2 Delenie podľa funkcie

- pevné
- jednosmerne pohyblivé
- všesmerne pohyblivé
- kĺbové

Ďalej sa budeme zaoberať iba oceľovými ložiskami, ktoré sa používajú na železničných oceľových mostoch. Materiál je liata alebo kovaná oceľ. Sú vhodné pre veľké podporové tlaky a úzke, dlhé priame alebo mierne zakrivené konštrukcie.

2.5.3 Typy oceľových ložisiek

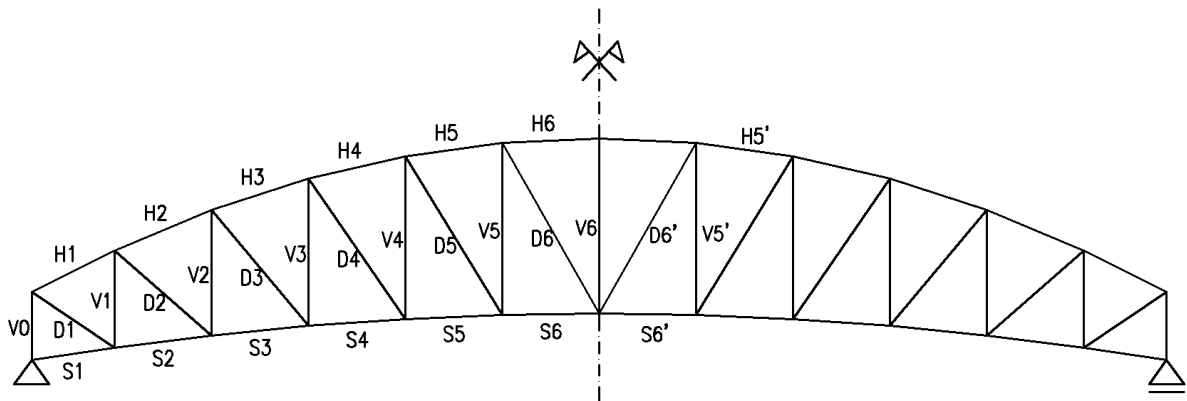
- tangenciálne ložisko
- pevné vahadloové ložisko
- pohyblivé valcové ložisko
- pohyblivé dvojvalcové ložisko

Na našej konštrukcii boli použité pevné vahadloové ložisko na (obr. 2-8) v ľavo a pohyblivé dvojvalcové ložisko (obr. 2-8) v pravo.



obr. 2-8 Pevné a pohyblivé ložisko

2.6 POPIS HLAVNÝCH ČASTÍ KONŠTRUKCIE



obr. 2-9 Schéma nosnej konštrukcie mostu

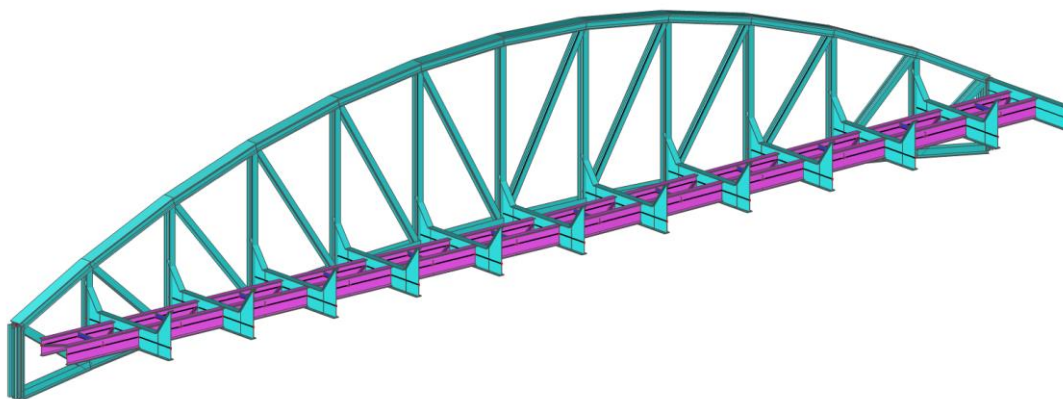
2.6.1 Nosné časti konštrukcie

Horný pás – sú to prvky na (obr. 2-9) označené symbolom H prenášajúce hlavne tlakové normálové sily. Preto sa najčastejšie navrhujú z uzavretých prierezov aby lepšie odolávali vzperu, pričom nesmieme zabúdať na nutnosť pripojenia zvislice a diagonály. [2]

Spodný pás – tvoria prvky prenášajúce najmä ťahové sily označené symbolom S na (obr. 2-9). Pri výbere profilu je dôležité ľahké stykovanie s ostatnými prvkami a možnosť postupne zväčšovať hrúbku pásnic pre meniacu sa normálovú silu. [2]

Diagonály – označené na (obr. 2-9) písmenom D sú prvkami v našom prípade prenášajúcimi ťahové normálové sily, ale nie je to podmienkou. Volíme dvojsovo symetrické prierezy a dbáme aby ich štíhlosť neprekročila medzné hodnoty uvedené v Tabuľka 6-6 [2] Doporučený sklon diagonály pri zvislicových sústavách je 45° až 50° . [1]

Zvislice – sú prvky označené písmenom V na (obr. 2-9), ktorých hlavnou úlohou je skracovať vzperné dĺžky v rovine priehradového trámu. V dnešnej dobe sa navrhujú aj bezzvislicové sústavy. [2]



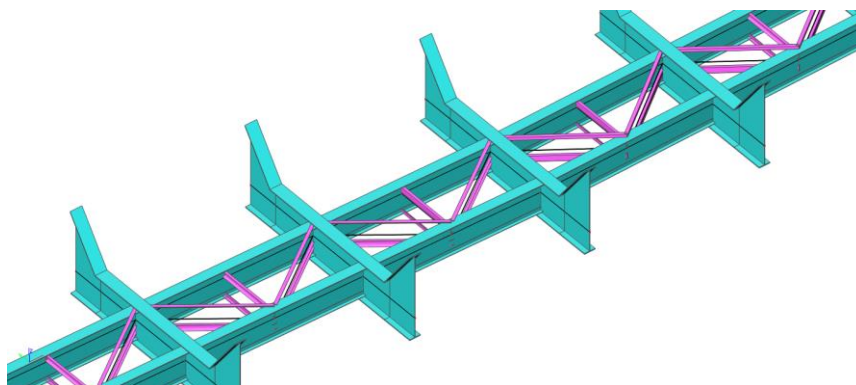
obr. 2-10 Priečniky a pozdĺžniky

Pozdĺžnik – je prvok vyznačený na (obr. 2-10) ktorý roznáša zaťaženie od mostníc do priečnikov. Je navrhnutý ako spojitý nosník s podporami v styku s priečnikom, zväčša ako I – profil. Pokiaľ je trať v oblúku, alebo v prechodnici zväčší sa výška jedného pozdĺžnika pre vytvorenie priečneho sklonu trate.

Priečnik – na (obr. 2-10) je prvok s nábehmi ktorý prenáša zaťaženie do priehradového trámu. Je namáhaný cyklickým zaťažením od prejazdu vlaku, kde v prípoji na zvislice môže vznikáť únavové porušenie. Túto hrozbu odstránime plynulou zmenou prierezu nábehom.

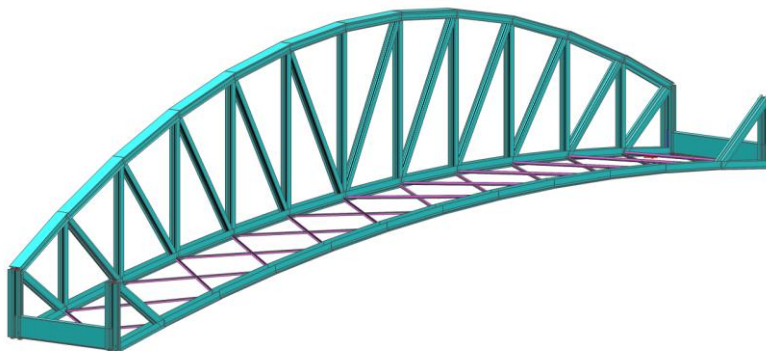
2.6.2 Podružné časti konštrukcie

Stuženie pozdĺžnikov – definitívne vodorovné stuženie pozdĺžnikov železničných mostov s prvkovou mostovkou zabezpečujúce prenos vodorovných síl do priečnikov. (obr. 2-11)[4]. Zabezpečuje pozdĺžniky proti strate stability pri ohybe, po rozpätia 3m medzi priečnikmi stužidlo nie je nutné.



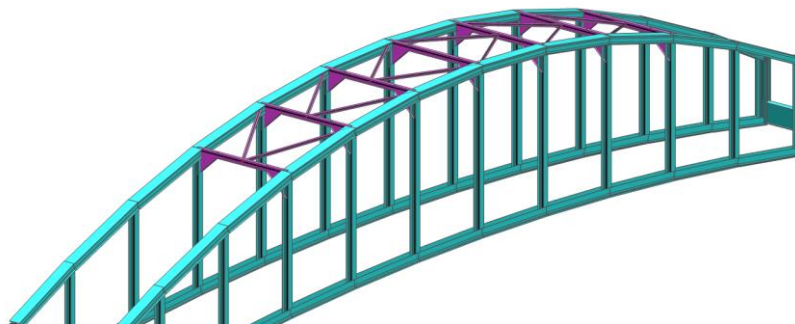
obr. 2-11 Stuženie pozdĺžnikov

Podmostovkové stužidlo – hlavné pozdĺžne stužidlo umiestnené pod mostovkou pri medziľahlej mostovke, ktoré prenáša priečne a pozdĺžne sily od vozidiel (obr. 2-12). [4]



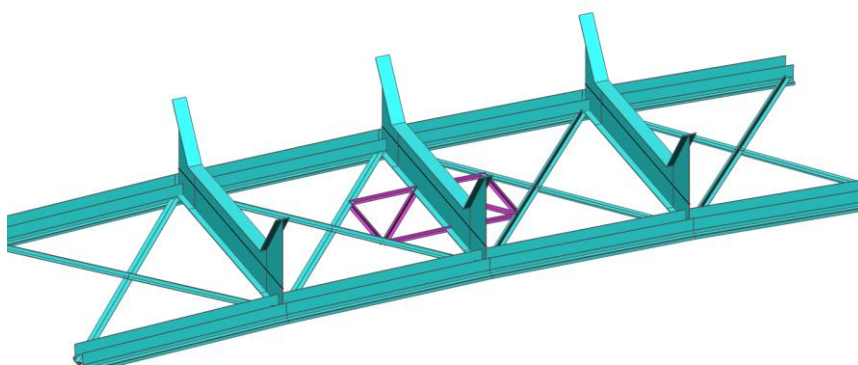
obr. 2-12 Podmostovkové stužidlo

Nadmostovkové stužidlo – vedľajšie pozdĺžne stužidlo umiestnené na mostoch s dolnou alebo medziľahlou mostovkou, medzi hornými pásmi hlavných nosníkov. [4] Pokiaľ je stužidlo súčasťou priestorovo uzavretého mostu (obr. 2-13), alebo mostu v oblúku, kde prenáša odstredivé sily, ktoré patria k hlavným zaťažovacím účinkom je súčasťou nosnej konštrukcie.[2].



obr. 2-13 Nadmostovkové stuženie

Brzdné stužidlo – pozdĺžne stužidlo pri železničných mostoch, ktoré prenáša pozdĺžne brzdné sily z pozdĺžnikov do hlavných nosníkov (obr. 2-14). [4] Pre rozpätie menšie ako 60 m postačuje jedno brzdné stužidlo v strede mostu. Zhotovenie je najčastejšie priehradové a v rovine pozdĺžneho stuženia hlavných nosníkov. [2] Toto stuženie značne zníži ohybový moment kolmo k rovine prierečnikov.



obr. 2-14 Brzdné stužidlo

3 MOŽNOSTI REKONŠTRUKCIE OCELOVÝCH MOSTOV [3]

Na druhej paneurópskej konferencii, ktorá sa konala na Kréte v marci 1994, definovali medzinárodné transeurópske dopravné koridory. Tri z nich prechádzajú našim územím. Ich výstavba má zintenzívniť spoluprácu susedných štátov Európskej únie. Umožní zvýšiť prepravu cez Slovensko v smere zo severu na juh Európy, ale aj zo západu na východ kontinentu.

Prioritou je modernizácia týchto koridorov a úprava smerových a výškových pomerov tak, aby sa odstránili pomalé jazdy a rýchlosť dopravy sa zvýšila na 160 km/h.

V súčasnosti sa spravuje 2281 železničných mostov, 20 % z nich nevykazuje dostatočnú pevnosť a 2,5 % mostov je v zlom, veľmi zlom až havarijnom stave.

Zárukou spoľahlivej funkcie mostnej konštrukcie počas celej predpokladanej životnosti je včasná a odborná údržba.

3.1 NAJČASTEJŠIE PORUCHY MOSTOV A ICH PRÍČINY

Jedným z hlavných predpokladov pre správny návrh rekonštrukcie mostnej konštrukcie je znalosť príčiny anomálií. Správna diagnóza týchto príčin vyžaduje značné skúsenosti a dokonalé znalosti použitých materiálov. Vo všeobecnosti pôsobí na mostnú konštrukciu veľa degradujúcich vplyvov.

3.2 KORÓZIA KOVOVÝCH ČASTÍ MOSTOV

3.2.1 Vznik a šírenie korózie

Veľký počet mostov v dnešnej prevádzke pochádza z konca devätnásteho storočia alebo zo začiatku dvadsiateho storočia. Agresivita prostredia súvisiaca s rozvojom priemyslu vyvolala zhoršenie stavu týchto mostov. Alarmujúcu situáciu spôsobilo hlavne vyššie znečistenie prostredia aj na relatívne nových mostoch.

Agresivita prostredia sa prejavuje predovšetkým atmosférickou koróziou. Spôsobená je chemickými alebo fyzikálne chemickými reakciami medzi materiálom a okolitým prostredím.

Chemická korózia vzniká pôsobením prostredia bez elektrického prúdu. Dochádza k priamemu prestupu elektrónov z kovu do koróznej splodiny a k vzniku väčšinou iónovej zlúčeniny. Hrubá vrstva koróznych splodín praská, odlupuje sa a stráca svoje ochranné vlastnosti najmä pri kolísaní teploty, kedy sa začína uplatňovať aj rozdielny súčiniteľ teplotnej rozťažnosti. Konečným koróznym produktom je hrdza tvorená hydratovanými oxidmi železa a stopovo aj chloridmi a síranmi.

Elektrochemická je korózia vyvolaná vznikom koróznych článkov, t. j. makro alebo mikroskopických miest na povrchu kovu. Medzi týmito miestami prebiehajú vlastné elektródové reakcie.

Pri anodickej reakcii atóm kovu prechádza na ión s kladným nábojom a súčasne uvoľňuje záporný elektrický náboj. V danom mieste dochádza k rozpúšťaniu alebo aj plošnému oddeleniu kovovej vrstvy. Katodická reakcia je charakteristická elektrickou neutralizáciou. Na katóde dochádza k redukcii a spotrebúva oxidujúcu látku a poškodzuje kov.

Činitele ovplyvňujúce koróziu :

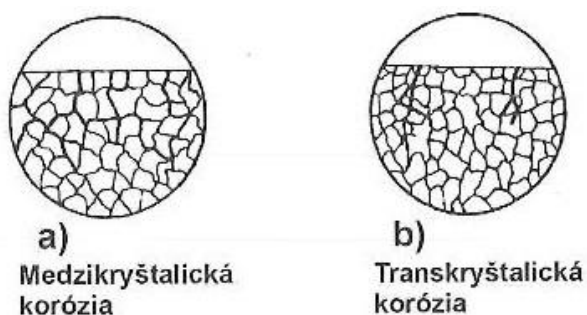
- chemické zloženie kovov
- štruktúra kovov, elektrochemická heterogenita
- povrch kovov, podľa stupňa a spôsobu obrábania
- vnútorné napätia, zvyšujú energetický obsah kovového materiálu lokálne
- chemické zloženie prostredia, oxid uhličitý, oxid síry, sírovodík, dusík
sadze, lietajúce popolčky
- vlhkosť a zloženie prostredia, kritická vlhkosť 65-75 % pri 25°C
- teplota prostredia
- blúdne prúdy
- abrázia, voľne uložený prašný materiál vypadávajúci z vozidiel

Mechanické rozrušenie materiálu môže spôsobiť doprava, rozklad organických látok, výskyt lišajníkov, korene stromov. Ďalšie poškodenie spôsobuje trhanie materiálu ktoré vyvolávajú objemové zmeny pri kolísajúcich teplotách.

3.2.2 Typy korózie

Medzikryštalická korózia ktorá prebieha medzi kryštálmi a napadá rozhranie zŕn, vzniká obvykle po nevhodnom tepelnom spracovaní ocele. Najskôr sa tento druh prejaví praskaním a následne úplným rozpadom.

Transkryštalická korózia sa v praxi vyskytuje veľmi zriedka. Prejavuje sa nielen napadnutím rozhrania zŕn, ale tiež samotných kryštálov kovu. Jej dôsledkom je praskanie, pričom veľmi významnou zložkou sú reziduálne napätia. Najčastejšie sa objavuje v okolí zvarov.



obr. 3-1 Typy korózie [3]

3.3 NAJČASTEJŠIE PORUCHY MOSTOV A ICH PRÍČINY

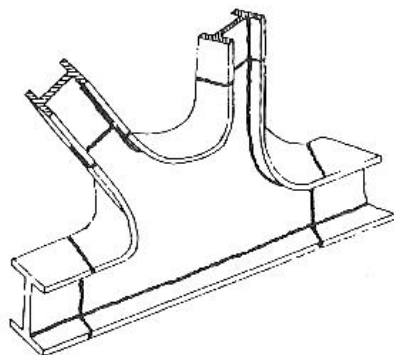
3.3.1 Detaily ovplyvňujúce životnosť z hľadiska korózie

Odolnosť konštrukcie proti koróziám sa zväčší, ak minimalizujeme povrchy vystavené pôsobeniu agresívnej atmosféry. Vhodne sa preto používajú jednoduché nečlenité tvary, prednostne uzavretého prierezu. Nevhodný detail je znázornený na (obr. 3-2), kde vznikla štrbinová korózia, na základe usadzovania nečistôt medzi dvoma uholníkmi.



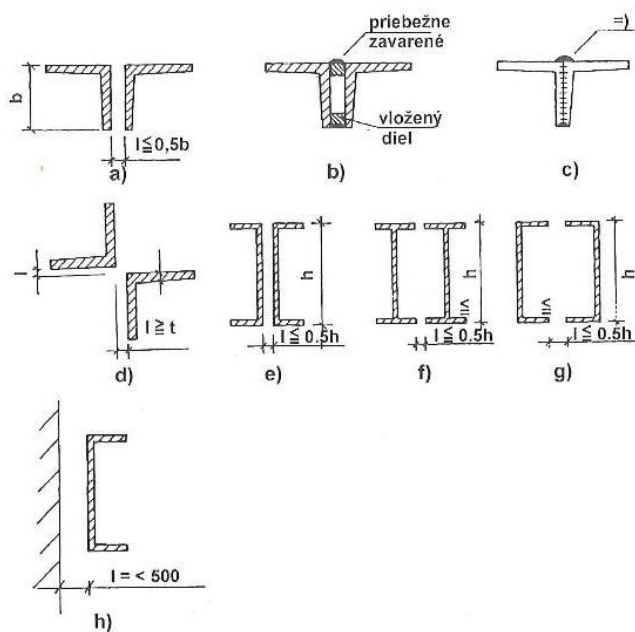
obr. 3-2 Štrbinová korózia na diagonále [3]

Vhodný detail prevedenia spoja otvorených profilov je na (obr. 3-3), kde sa minimalizovali všetky plochy, ktoré sú vystavené usádzaniu nečistôt a detaily citlivé na koróziu.



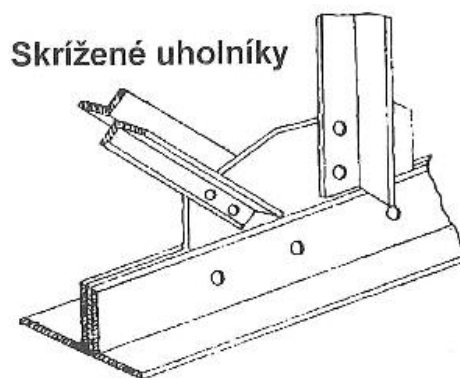
obr. 3-3 Vhodný detail spoja [3]

Nedokonalý prístup na zhotovenie, údržbu a kontrolu protikoróznej ochrany môže napomáhať znehodnoteniu detailov mosta. Pri prútoch zo dvojených tyčí je dôležitá veľkosť a prevedenie škáry, aby bola dostupná alebo úplne uzavretá.



obr. 3-4 Vhodnosť skladby členených prútov [3]

Vhodné riešenie, ktoré vylučuje štrbinu posunutím tyčí je na (obr. 3-5), umožňuje ľahkú kontrolu a údržbu daného profilu.



obr. 3-5 Skrížené uholníky umožňujúce údržbu [3]

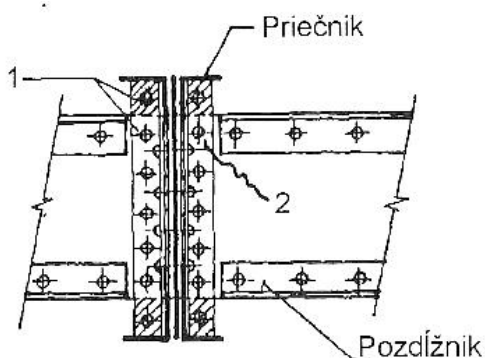
3.3.2 Nevhodná koncepcia a detaily zhoršujúce pôsobenie mostov

Zastarané konštrukčné riešenia ako aj nepriaznivé koncepčné riešenie starších mostov majú veľký vplyv na dĺžku životnosti týchto konštrukcií a rezervy v ich únosnosti.

Návrhu spojov, prípojov a ďalších detailov musí byť venovaná potrebná pozornosť, pretože **únosnosť mosta limituje najslabšie miesto**. Ak detaily neprenesú predpokladané zaťaženie, iste dôjde ku kolapsu celej konštrukcie, bez ohľadu na rezervy únosnosti ostatných elementov mosta.

Častá chyba prispievajúca k rýchlejšiemu opotrebovaniu mosta je **zapríčinená spojovacími prvkami** a to príliš veľkou rozstupovou vzdialenosťou nitov, ktoré spájajú pásnice alebo pásnicu s uholníkom.

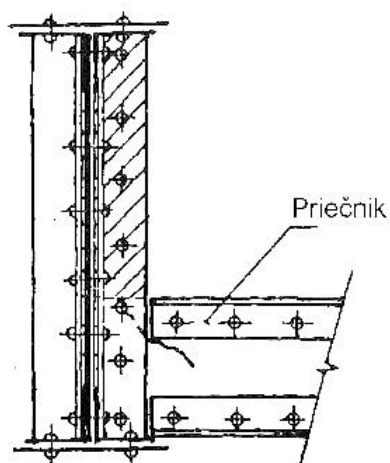
Ďalší chýlostivý detail sa môže vyskytnúť v konštrukcii klasickej otvorenej mostovky. Prípoj pozdĺžnika na priečnik sa tu bežne realizoval bez prídavnej pásnice zabezpečujúcej kontinuitu pozdĺžnikov pri prechode cez priečnik (obr. 3-6).



obr. 3-6 Nevhodný detail pripojenia [3]

Najvyššie nity, ktoré pripájajú na priečnik prírubu pripojeného uholníka, sú namáhané šmykom od reakcie pozdĺžnika, ale navyše aj ťahom na hlavu vyvolaným momentom votknutia. Časom dochádza k osovému predĺženiu nitov, ktoré ak sa nepretrhnú plnia len úlohu tŕňa. A z nitového otvoru sa časom môže inicializovať trhlina v stene pozdĺžnika.

Podobným kritickým detailom sa stretávame v prípoji priečnika na hlavný nosník. Toto spojenie sa realizovalo len cez stenu priečnika (obr. 3-7). Prechod každej nápravy vyvoláva mimoriadne namáhanie nitov spoja, čo môže zapríčiniť **ovalizovanie nitových otvorov**, čím sa priečniky uvoľnia. V dôsledku cyklického namáhania sa v prípoji po určitom čase môžu vyskytnúť únavové trhliny, ktoré oslabujú účinný prierez.



obr. 3-7 Nevhodný prípoj priečnika na hlavný nosník [3]

3.3.3 Mechanické a únavové porušenia

Mechanické porušenia vznikajú hlavne pri náraze vozidiel do mostnej konštrukcie, ale taktiež pri výrobe a montáži mosta.

Pozornosť treba venovať **príliš štíhlym prútom**. Môžu byť nedostatočne namáhané ťahom, a preto kmitajú pri prechode vozidiel po moste. Veľké amplitúdy kmitania môžu viesť k uvoľneniu prípojov a vzniku trhlín. Aby sa zmenšilo kmitanie prúta, je nutné zvýšiť jeho tuhosť alebo redukovať voľnú dĺžku.

Zvýšená **frekvencia pohyblivého zaťaženia** zvýraznila dôležitosť únavových porušení detailov konštrukcie. Únavové porušenia prejavujúce sa trhlinami, môžu vznikať aj pri relatívne nízkych napätiach.

Na **nitovaných mostoch** najväčšia koncentrácia napätí existuje pri nitových otvoroch v prípojoch a stykoch.

Najväznejšie **únavové porušenia** sa objavujú **na diagonálach** priehradových hlavných nosníkov okolo stredu rozpätia mosta, pretože od občasného zaťaženia sú tlačené aj ťahané. Trhliny vychádzajú z otvoru prvého, druhého resp. tretieho nitového radu. Často sú roztrhnuté jednotlivé časti priečneho rezu diagonály alebo aj celý prút. Únavovému porušeniu prúta obvykle predchádza uvoľňovanie nitových prípojov.

Únavové porušenie priečnikov je na (obr. 3-7). K jeho porušeniu únavou dochádza ešte pri veľkých rozpätiach mostov v spodných pásových uholníkoch priečnikov. Príčinou ich vzniku je spolupôsobenie mostovky s dolnými pásmi hlavných nosníkov a tým opakovaný ohyb priečnikov z ich roviny.

4 PREHLIADKA A ZAMERANIE KONŠTRUKCIE

4.1 CHARAKTERISTIKA MOSTU

4.1.1 História

Predmetom výpočtu a merania je jeden z dvoch jednokoľajových mostov v obci Strečno postavených v roku 1939 na trase Košice - Bohumín na 324,386 kilometri. Ktoré boli v roku 1945 zničené ustupujúcou nemeckou armádou (obr. 4-1). Novú konštrukciu vyrobili Vítkovické železiarne a opravy boli dokončené v roku 1946.



obr. 4-1 Historická fotografia z roku 1945

4.1.2 Technické informácie

Most je v prechodnici k oblúku o $R=450$ m, klesá 2,3 ‰ smer Bohumín, pôvodná navrhovaná rýchlosť je 90 km/h. Súčasťou mostu sú 3 polia, ktoré nie sú spriahnuté a dajú sa analyzovať samostatne. Prvé a posledné pole tvoria plnostenné nosníky o dĺžke 29,4m, s hornou mostovkou (obr. 4-2).



obr. 4-2 Bočný pohľad na most

Stredné pole, ktoré je predmetom merania má rozpätie 57,40m s medzilahlou prvkovou mostovkou. Nosná konštrukcia je tvorená dvoma parabolickými čiastočne uzavretou usporiadanými priehradovými nosníkmi, ktoré sú uložené na dvoch operách týčiacich sa z koryta váhu. Oceľ použitá na konštrukciu nesie označenie C37, ktorá má podľa [5] medzu klzu stanovenú na 230 MPa. Spoje a profily sú nitované. Profily mosta sú odstupňované podľa veľkosti vnútorných síl a skoro každý prút ma špecifický prierez. Konštrukcia je na prvý pohľad dvojsovo symetrická, ale vzhľadom na zakrivenie trate a vplyvu odstredivých síl to tak nie je. Prvková mostovka je tvorená z priečnikov a pozdĺžnikov ktoré boli bližšie špecifikované v časti 2.6.1.



obr. 4-3 Čelný pohľad na most

4.2 ZAMERANIE STÁVAJÚCEJ KONŠTRUKCIE

Pôvodný plán pre spracovanie konštrukcie bolo zjednodušené zistenie geometrie pomocou internetových zdrojov. Zistenie profilov jednotlivých prútov bolo prevedené experimentálne, nedeštruktívnou skúškou za pomoci prístroja PosiTector UTG ultrazvukovými vlnami (obr. 2-1).



obr. 4-4 Meranie ProsiTector UTG

Výsledky merania boli veľmi nepresné a to vzhľadom na hrúbku náteru, výrobným toleranciam plechov, z ktorých boli tvorené profily a nedostatočným počtom opakovaní.

Na konštrukcii neboli prvky znateľne poškodené koróziou, pretože náter je relatívne nový a celistvý. Miesta s väčšou pravdepodobnosťou korózných úbytkov boli priečniky a pozdĺžniky, ku ktorým nie je prístup.

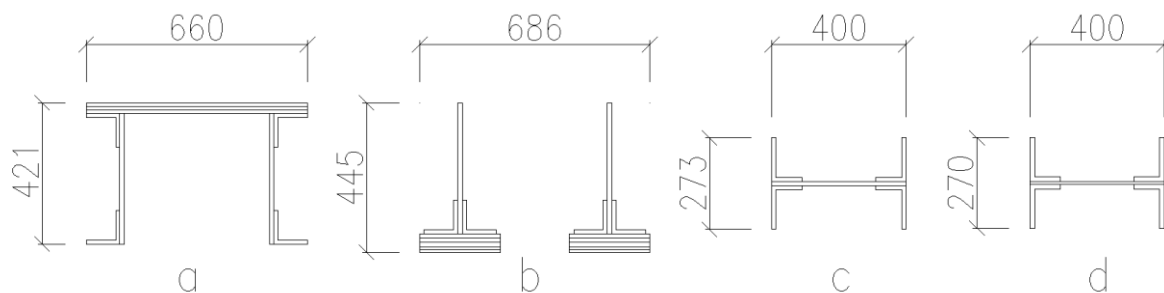
4.2.1 Získanie výkresovej dokumentácie

Pre získanie relevantných informácií o konštrukcii pre potreby statického výpočtu, som podal žiadosť o sprístupnenie výkresovej dokumentácie na ŽSR Oblastné riaditeľstvo Žilina a bolo mi vyhovené. Bola mi sprístupnená všetka výkresová dokumentácia a pôvodné statické výpočty v archíve v počte cca 60 výkresov a 1 statický výpočet.

Kópie časti tejto dokumentácie sú k nahliadnutiu v prílohe č.1.

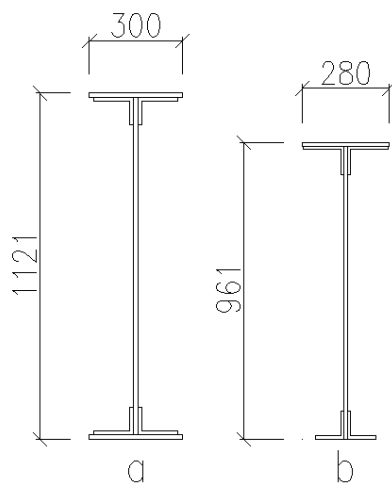
4.3 ZÍSKANÉ DIMENZIE PRVKOV

Spracovanie pôvodnej dokumentácie a vytvorenie zoznamu použitých profilov pre hlavné časti konštrukcie. Pre názornosť uvediem typy prierezov pre jednotlivé hlavné nosné prvky, ostatné sú uvedené vo výkrese č. 5, ktorý je súčasťou.



obr. 4-5 Profily hl. nosných prvkov, a) horný pás, b) spodný pás, c) zvislica d) diagonála.

Na (obr. 4-5) je vidieť typy prútov, ktoré boli použité na moste. Tieto profily boli nadimenzované pre stredné pole rozpätia. Sú to skladané profily z plechov rôznych hrúbok a uholníkov spojované nitmi.



obr. 4-6 a) priečnik, b) pozdĺžnik

Na (obr. 4-6) môžeme vidieť profily pre priečnik a pozdĺžnik, ktoré majú pre každé pole premennú výšku kvôli klopeniu dráhy v prechodnici a pozdĺžnemu klesaniu.

Ostatné profily sú dostupné v prílohe č.2 alebo vo výkrese č. 5.

5 PREDBEŽNÉ RUČNÉ POSÚDENIE HLAVNÝCH PRVKOV KONŠTRUKCIE

5.1 STÁLE ZAŤAŽENIE

Tvorí dominantnú zložku na každej mostnej konštrukcii. Výška a geometria nosníkov vzhľadom na ich rozpätie je predmetom dlhoročných štúdií pre nájdenie optimálneho pomeru. Jeho výpočtu sa budeme venovať v kap. 5.5.1.

5.2 ZAŤAŽENIE OD DOPRAVY

Zaťaženie na železničné mosty má svoje špecifiká uvedené v [6]. Reprezentované sú príslušnými zaťažovacími modelmi, ktoré sa nezhodujú so skutočným zaťažením. Sú volené tak, aby vystihovali skutočné účinky zaťaženia v prevádzke spolu s dynamickými vplyvmi, ktoré sa uvažujú oddelene.

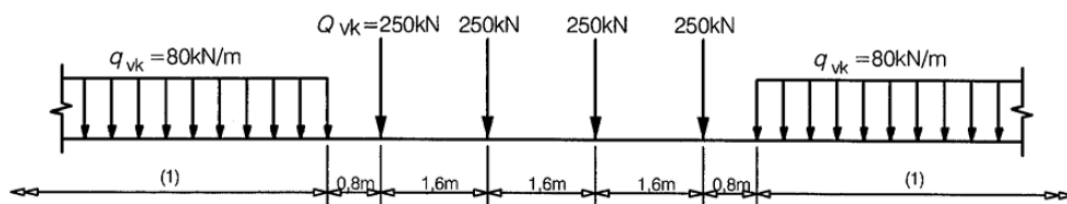
Zaťaženie na mostné konštrukcie delíme na:

- **stále** vlastná tiaž mostu a jeho trvalých častí, predpätie
- **náhodilé dlhodobé** zaťaženie od odstraniteľných častí mosta, dotvarovanie atď.
- **náhodilé krátkodobé** účinky od pohyblivých súprav, zaťaženie chodníkov, teplotné zmeny atď.
- **náhodilé mimoriadne** zaťaženie od montáže, nárazov, seizmicity

5.2.1 Náhodilé krátkodobé zaťaženie

Je najmä zaťaženie od dopravy a je reprezentované zaťažovacími modelmi.

Zaťažovací model 71 reprezentuje statický účinok zvislého zaťaženia od bežnej železničnej dopravy. Jeho usporiadanie a hodnoty sú na (obr. 5-1).



obr. 5-1 Zaťažovací model 71 [6]

Charakteristické hodnoty zvislého zaťaženia z (obr. 5-1) sa musia násobiť súčiniteľom α . V národnej prílohe k norme [6] sú stanovené hodnoty súčiniteľa, pre hlavné trate celoštátnych dráh je jeho hodnota $\alpha=1,21$.

Spojité zaťaženie	q_{vk}	80 kN/m	
Osamelá sila	Q_{vk}	250 kN	
Súčiniteľ	α	1.21	pre trate 1. 2. triedy
Súč. Pre náhodilé	γ_M	1.45	

Rozdelenie zaťaženia je 45 % a 55% pre vonkajšiu kolajnicu

Zaťaženie na vonkajšiu koľaj 55%

CHAR. HODNOTY

Spojité zaťaženie

$$q_{vk, \text{vonkajšia}} = q_{vk} * \alpha * 0.55 = 80 * 1.21 * 0.55 = 53.24 \text{ kN/m}$$

Osamelá sila

$$Q_{vk, \text{vonkajšia}} = Q_{vk} * \alpha * 0.55 = 250 * 1.21 * 0.55 = 166.375 \text{ kN}$$

NÁVRHOVÉ HODNOTY

Spojité zaťaženie

$$q_{vd, \text{vonkajšia}} = q_{vk} * \alpha * 0.55 * \gamma_M = 80 * 1.21 * 0.55 * 1.45 = 77.198 \text{ kN/m}$$

Osamelá sila

$$Q_{vd, \text{vonkajšia}} = Q_{vk} * \alpha * 0.55 * \gamma_M = 250 * 1.21 * 0.55 * 1.45 = 241.244 \text{ kN}$$

Zat'azenie na vnútornú koľaj 45%

CHAR. HODNOTY

Spojité zat'azenie

$$q_{vk, vnútorná} = q_{vk} * \alpha * 0.45 = 80 * 1.21 * 0.45 = 43.56 \text{ kN/m}$$

Osamelá sila

$$Q_{vd, vnútorná} = Q_{vk} * \alpha * 0.45 = 250 * 1.21 * 0.45 = 136.125 \text{ kN}$$

NÁVRHOVÉ HODNOTY

Spojité zat'azenie

$$q_{vd, vnútorná} = q_{vk} * \alpha * 0.45 * \gamma_M = 80 * 1.21 * 0.55 * 1.45 = 63.162 \text{ kN/m}$$

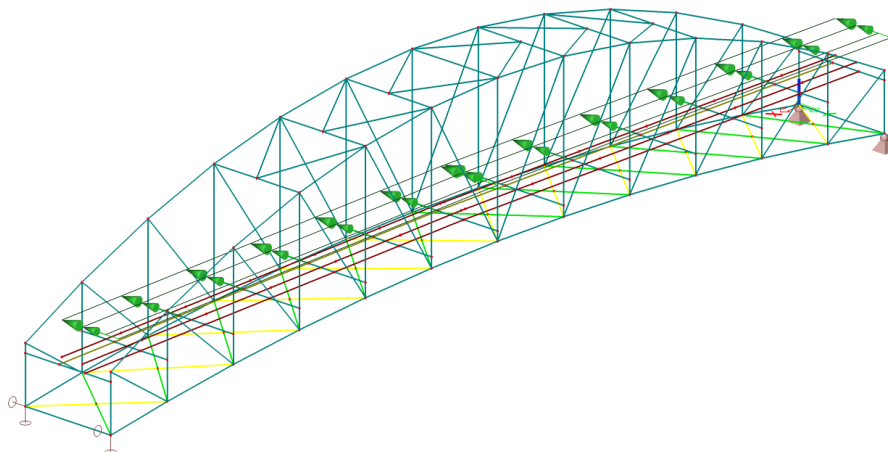
Osamelá sila

$$Q_{vd, vnútorná} = Q_{vk} * \alpha * 0.45 * \gamma_M = 250 * 1.21 * 0.55 * 1.45 = 197.381 \text{ kN}$$

5.2.2 Vodorovné zat'azenie

Odstredivé sily

Charakteristické sú pre trate v oblúku alebo v prechodnici. Pôsobia iba von z oblúku a nenásobia sa dynamickým súčiniteľom.



obr. 5-2 Schéma zaťaženia od odstredivých síl

$$Q_{tk} = \frac{v^2}{g * r} * (f * Q_{vk}) = \frac{V}{127 * r} * (f * Q_{vk}) \quad (1.)$$

$$q_{tk} = \frac{v^2}{g * r} * (f * q_{vk}) = \frac{V^2}{127 * r} * (f * q_{vk}) \quad (2.)$$

Q_{tk} charakteristické hodnoty odstředivých sil

Q_{vk} char. Hodnoty zvislých zatížení

f redukční součinitel

v max. rychlost v m/s, V max. rychlost v km/hod

g gravitačné zrýchlenie

r polomer zakrivenia blúku

polomer $r =$ 450 m

rychlost $V =$ 90 km/h

redukč. $f =$ 1 do 120 km/h je $f = 1$

Zatížení na vonkajšiu koľaj 55%

CHARAKT. HODNOTY

$$q_{tk,vonk.} = \frac{v^2}{g * r} * (f * q_{vk}) = \frac{V^2}{127 * r} * (f * q_{vk}) = 7,55 \text{ kN/m}$$

$$Q_{tk,vonk.} = \frac{v^2}{g * r} * (f * Q_{vk}) = \frac{V^2}{127 * r} * (f * Q_{vk}) = 23,58 \text{ kN}$$

NÁVRHOVÉ HODNOTY

$$q_{td,vonk.} = q_{tk} * \gamma_M = 10,94 \text{ kN/m}$$

$$Q_{td,vonk.} = Q_{tk} * \gamma_M = 34,19 \text{ kN}$$

Zatížení na vonkajšiu koľaj 45%

CHARAKT. HODNOTY

$$q_{tk,vnut.} = \frac{v^2}{g * r} * (f * q_{vk}) = \frac{V^2}{127 * r} * (f * q_{vk}) = 6,17 \text{ kN/m}$$

$$Q_{tk,vnut.} = \frac{v^2}{g * r} * (f * Q_{vk}) = \frac{V^2}{127 * r} * (f * Q_{vk}) = 19,29 \text{ kN}$$

NÁVRHOVÉ HODNOTY

$$q_{td,vnut.} = q_{tk} * \gamma_M = 8,95 \text{ kN/m}$$

$$Q_{td,vnut} = Q_{tk} * \gamma_M = 27,98 \text{ kN}$$

Bočný ráz

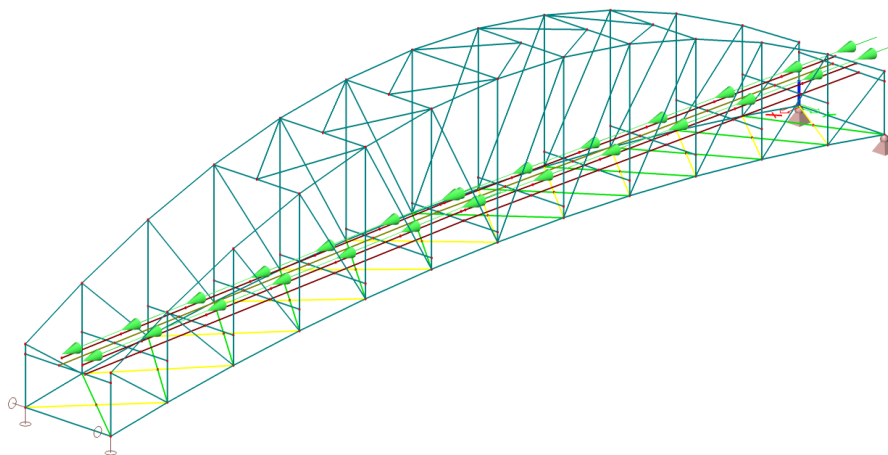
Bočný ráz je stanovený v norme charakteristickou hodnotou Q_{sk} a uvažuje sa osamelá sila pôsobiaca vodorovne v úrovni temena koľajnice, kolmo na os koľaje. Táto hodnota sa má násobiť so súčiniteľom α . Vždy sa kombinuje so zvislým zaťažením od dopravy. [7]

$$Q_{sk} = 100 \text{ kN}$$

$$Q_{sd,1/2} = Q_{sk,1/2} * \alpha = 50 * 1,21 * 1,45 = 60.5 \text{ kN}$$

Zaťaženie od rozjazdu a brzdenia

Rozjazdové a brzdné sily pôsobia v úrovni temena koľajníc v pozdĺžnom smere koľaje ich charakteristické hodnoty sa uvažujú takto.



obr. 5-3 Schéma zaťaženia brzdňými/rozjazdovými silami

Rozjazdová sila $Q_{lak} = 33 L_{a,b} \leq 1000 \text{ kN}$

Brzdná sila $Q_{lbk} = 20 L_{a,b} \leq 6000 \text{ kN}$

Charakteristické hodnoty pre jednu koľaj

$$Q_{lad,1/2} = Q_{lak} * 0,5 * L_{a,b} = 33 * 0,5 * L_{a,b} = 16.5 \text{ [kN/m]} * L_{a,b}$$

$$Q_{lbd,1/2} = Q_{lbk} * 0,5 * L_{a,b} = 20 * 0,5 * L_{a,b} = 10 \text{ [kN/m]} * L_{a,b}$$

Dynamické účinky

Zaťaženie koľajovou dopravou je v princípe zaťaženie dynamické. V starších normách boli účinky dynamického zaťaženia spravidla nahradené kvazistickým výpočtom. Boli

vypočítané účinky od definovaného statického zaťaženia a tieto účinky sa vynásobili dynamickým súčiniteľom φ , ktorý bol v závislosti na niektorých faktoroch uvedený v norme [6].

V súčasnej dobe tento spôsob výpočtu ostáva v Eurokóde zachovaný.

Dynamický súčiniteľ pre štandardne udržiavanú koľaj sa vypočíta zo vzťahu (3.).

$$\varphi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\varphi} - 0,2} + 0,73 \quad 1 \leq \varphi_3 \leq 2 \quad (3.)$$

Pre pozdĺžnik sa podľa ČSN EN 1991 - 2 berie náhradná dĺžka ako trojnásobok vzdialenosti priečnikov.

$$L_\varphi = 4.9 \cdot 3 = 14.7 \text{ m}$$

$$\varphi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\varphi} - 0,2} + 0,73 = 1.32$$

Pre priečniky, ktoré sú súčasťou roštu sa uvažuje dvojnásobok dĺžky priečniku.

$$L_\varphi = 5.9 \cdot 2 = 11.8 \text{ m}$$

$$\varphi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\varphi} - 0,2} + 0,73 = 1.40$$

Pre hlavný nosník sa berie celkové rozpätie mostu.

$$L_\varphi = 2 \cdot 28.7 = 57.4 \text{ m}$$

$$\varphi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\varphi} - 0,2} + 0,73 = 1.02$$

5.2.3 Zvislé zaťaženie vrátane dynamického účinku

Zaťaženie na vonkajšiu koľaj 55%

Pozdĺžnik

NÁVRHOVÉ HODNOTY

Spojité zaťaženie

$$q_{vd,celk} = q_{vk} * \alpha * \gamma M * \varphi_3 = 80 * 1.21 * 0.55 * 1.45 * 1,324 = 102.24 \text{ kN/m}$$

Osamelá sila

$$Q_{vd,celk} = Q_{vk} * \alpha * \gamma M * \varphi_3 = 250 * 1.21 * 0.55 * 1.45 * 1,324 = 319.50 \text{ kN}$$

Priečnik

NÁVRHOVÉ HODNOTY

Spojité zaťaženie

$$q_{vd,celk} = q_{vk} * \alpha * \gamma M * \varphi_3 = 80 * 1.21 * 0.55 * 1.45 * 1,398 = 107.90 \text{ kN/m}$$

Osamelá sila

$$Q_{vd,celk} = Q_{vk} * \alpha * \gamma M * \varphi_3 = 250 * 1.21 * 0.55 * 1.45 * 1,398 = 337.18 \text{ kN}$$

Hl. nosník

NÁVRHOVÉ HODNOTY

Spojité zaťaženie

$$q_{vd,celk} = q_{vk} * \alpha * \gamma M * \varphi_3 = 80 * 1.21 * 0.55 * 1.45 * 1,022 = 78.96 \text{ kN/m}$$

Osamelá sila

$$Q_{vd,celk} = Q_{vk} * \alpha * \gamma M * \varphi_3 = 250 * 1.21 * 0.55 * 1.45 * 1,022 = 246.75 \text{ kN}$$

Zat'azenie na vnútornú koľaj 45%

Pozdĺžnik

NÁVRHOVÉ HODNOTY

Spojité zat'azenie

$$q_{vd,celk} = q_{vk} * \alpha * \gamma M * \varphi_3 = 80 * 1.21 * 0.45 * 1.45 * 1,324 = 83.65 \text{ kN/m}$$

Osamelá sila

$$Q_{vd,celk} = Q_{vk} * \alpha * \gamma M * \varphi_3 = 250 * 1.21 * 0.45 * 1.45 * 1,324 = 261.41 \text{ kN}$$

Priečnik

NÁVRHOVÉ HODNOTY

Spojité zat'azenie

$$q_{vd,celk} = q_{vk} * \alpha * \gamma M * \varphi_3 = 80 * 1.21 * 0.45 * 1.45 * 1,398 = 88.2799 \text{ kN/m}$$

Osamelá sila

$$Q_{vd,celk} = Q_{vk} * \alpha * \gamma M * \varphi_3 = 250 * 1.21 * 0.45 * 1.45 * 1,398 = 275.875 \text{ kN}$$

Hl. nosník

NÁVRHOVÉ HODNOTY

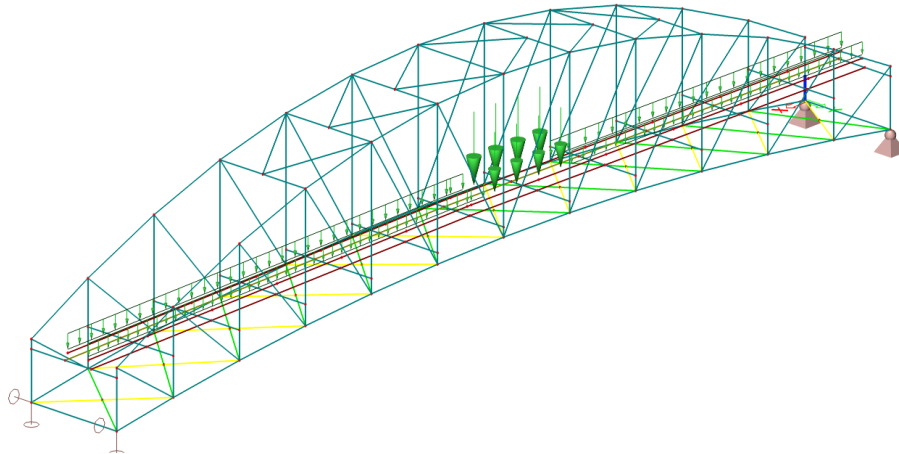
Spojité zat'azenie

$$q_{vd,celk} = q_{vk} * \alpha * \gamma M * \varphi_3 = 80 * 1.21 * 0.45 * 1.45 * 1,022 = 64.60 \text{ kN/m}$$

Osamelá sila

$$Q_{vd,celk} = Q_{vk} * \alpha * \gamma M * \varphi_3 = 250 * 1.21 * 0.45 * 1.45 * 1,022 = 201.89 \text{ kN}$$

5.2.4 Zvislé zaťaženie vrátane dynamického účinku pre priestorový model



obr. 5-4 Schéma pohyblivého zaťaženia

Zaťaženie na vonkajšiu koľaj 55%

pre bezpečnosť výpočtu uvažujeme najvyšší dynamický súčiniteľ

CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY

Spojité zaťaženie

$$q_{vd,celk} = q_{vk} * \alpha * \varphi_3 = 80 * 1.21 * 0.55 * 1,398 = \mathbf{74.4122 \text{ kN/m}}$$

Osamelá sila

$$Q_{vd,celk} = Q_{vk} * \alpha * \varphi_3 = 250 * 1.21 * 0.55 * 1,398 = \mathbf{232.538 \text{ kN}}$$

Zaťaženie na vnútornú koľaj 45%

pre bezpečnosť výpočtu uvažujeme najvyšší dynamický súčiniteľ

CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY

Spojité zaťaženie

$$q_{vd,celk} = q_{vk} * \alpha * \varphi_3 = 80 * 1.21 * 0.45 * 1,398 = \mathbf{60.8827 \text{ kN/m}}$$

Osamelá sila

$$Q_{vd,celk} = Q_{vk} * \alpha * \varphi_3 = 250 * 1.21 * 0.45 * 1,398 = \mathbf{190.258 \text{ kN}}$$

5.3 ZAŤAŽENIE VETROM

Zaťaženie vetrom bolo stanovené podľa [8] toto zaťaženie pôsobí v smeroch x , y , z .

Smer x je v norme definovaný ako smer kolmý na dráhu pozdĺžnom smere.

Smer z je zvislý.

pôvodná zákl. rýchlosť vetra $v_{b,0} = 26 \text{ m/s}$

súčiniteľ smeru vetra $c_{dir} = 1$

súčiniteľ ročného obdobia $c_{season} = 1$

$$v_b = v_{b,0} * c_{dir} * c_{season}$$

Základná rýchlosť vetra $v_b = 26 \text{ m/s}$

Parameter drsnosti terénu $z_0 = 0.01$ kategória terénu I viz. tab. 4.1 [8]

Merná hmotnosť vzduchu $\rho = 1.25$

Výška konštrukcie nad zemou $z = 13 \text{ m}$

Súčiniteľ turbulencie $k_I = 1$

Súčiniteľ ortografie $c_0 = 1$

Súčiniteľ drsnosti terénu

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 * \left(\frac{0.01}{0.01} \right)^{0,07} \quad (4.)$$

$$k_r = 0.19$$

Súčiniteľ drsnosti

$$c_r(z) = k_r * \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 1 * \ln \left(\frac{13}{0.01} \right) \quad (5.)$$

$$c_r(z) = 1.36$$

Stredná rýchlosť vetra

$$v_m = c_r(z) * c_0 * v_b = 1.362 * 1 * 26 \quad (6.)$$

$$I_{v(z)} = 0.14$$

Základný dynamický tlak

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b(z)^2 \quad (7.)$$

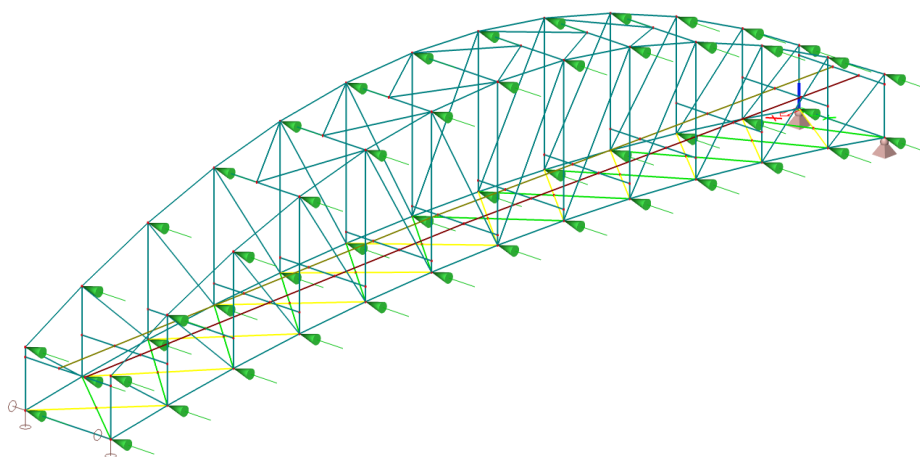
$$q_b = 0.42 \text{ kN/m}^2$$

Maximálny dynamický tlak

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) = c_e(z) * q_b$$

$$q_p = 1.55 \text{ kN/m}^2$$

5.3.1 Pričný vietor



obr. 5-5 Schéma zaťaženia priečnym vetrom

Tabuľka 5-1 Referenčná plocha konštrukcie

Názvo prvku	[A/m]	počet metrov	plocha prútov [m ²]
Horný pás	0.421	60.08	25.29
Dolný pás	0.445	57.66	25.66
Diagonály	0.27	93.33	25.20
Zvislice	0.313	95.65	29.94
podélnik	1.1	57.4	63.14

Celková plocha priehradovej konštrukcie 169,23 m².

Plocha oboch priehradových trámov podľa poznámky v norme [8], pre vzdialenosť väčšiu ako 1 m.

$$\begin{aligned}
 A_{ref,x} &= 169.23 \text{ m}^2 \\
 b &= 5.9 \text{ m} \\
 d_{tot} &= 8.85 \text{ m} \\
 b/d_{tot} &= 0.666667 \\
 c_{fx0,0} &= 2.4 \\
 z_e = z &= 13 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Doporučená hodnota C pre mosty interpoláciou z Tabuľka 5-2.

Tabuľka 5-2 Doporučené hodnoty súčiniteľa pre zaťaženie vetrom C pre mosty

b/d_{tot}	$z_e \leq 20 \text{ m}$	$z_e = 50 \text{ m}$
$\leq 0,5$	6,7	8,3
$\geq 4,0$	3,6	4,5

Tato tabulka vychází z následujících předpokladů:

- kategorie terénu II podle tabulky 4.1;
- součinitel síly $\alpha_{t,x}$ podle 8.3.1(1);
- $c_o = 1,0$;
- $k_1 = 1,0$.

Pro mezilehlé hodnoty b/d_{tot} a z_e lze použít lineární interpolaci.

$$C = 6.55$$

Silu vetra v smere x kolmý k dráhe vypočítame dosadením do nasledujúceho vzťahu.

$$F_w = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 * C * A_{ref,x} = \frac{1}{2} * 1,25 * 26^2 * 6,55 * 338,46 \quad (8.)$$

$$F_w = 468.49 \text{ kN}$$

Hodnota zaťaženia vetrom pre jeden styčnik priehradovej konštrukcie

$$F_{wl} = 9.01 \text{ kN}$$

5.3.2 Priečný vietor pre nezaťažený vlak

S kombináciou so zaťažením od dopravy sa plocha navýši o výšku 4 m po celej dĺžke mostu pre model zaťaženia s prázdny vlakom.

Tabuľka 5-3 Referenčná plocha pre vietor v kombinácii s vlakom

	[A/m]	Počet metrov	plocha [m ²]
Plocha vlaku	4	57.4	229.60
Celková plocha mostu			169.23

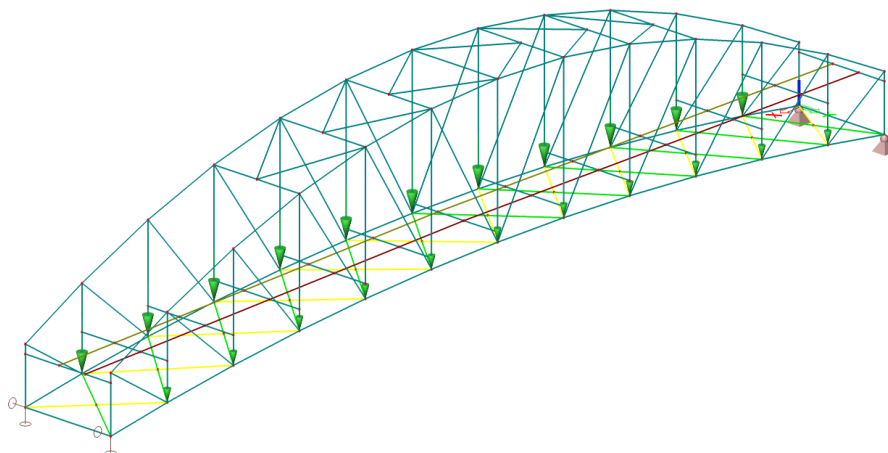
Súčet plôch 398.83

Silu vetra v smere x kolmý k dráhe

$$F_{w,x} = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 * C * A_{ref,x} = \frac{1}{2} * 1,25 * 26^2 * 6,55 * 398,83 \quad (9.)$$

$$F_{wx} = 1104.113 \text{ kN}$$

5.3.3 Zvislý vietor



obr. 5-6 Schéma zaťaženia zvislým vetrom

Šírka kontrukšcie $b = 5.9 \text{ m}$

Dĺžka konštrukcie $L = 54.7 \text{ m}$

$c_{f,z} = 0.9$

$$A_{ref,z} = b * L \quad (10.)$$

$$A_{ref,z} = 322.73 \text{ m}^2$$

Silu vetra v ose z, zvislý k dráhe

$$F_{w,z} = q_p * c_{f,z} * A_{ref,z} = 1.55 * 0.9 * 322.73 \quad (11.)$$

$$F_{wz} = 450.11 \text{ kN}$$

Pokiaľ nie je uvedené inak, môžeme excentricitu sily v smere x nastaviť ako $e = b/4$.

Súčet síl na vnútornej strane

$$F_{w,z,1/4} = F_{w,z} * 0.25 \quad (12.)$$

$$F_{w,z,1/4} = 112.53 \text{ kN}$$

Sila pre jeden styčný bod na konštrukcii

$$F_1 = 10.23 \text{ kN}$$

Súčet síl na vonkajšej strane

$$F_{w,z,3/4} = F_{w,z} * 0,75 \quad (13.)$$

$$F_{w,z,3/4} = 337.58 \text{ kN}$$

Sila pre jeden styčný bod na konštrukcii

$$F1 = 30.69 \text{ kN}$$

5.4 RUČNÝ VÝPOČET PRVKOV MOSTOVKY

Predbežný ručný výpočet mostu vychádza z odhadu jeho hmotnosti a zjednodušeného modelu, ktorým určíme veľkosti vnútorných síl. Za predpokladu návrhu novej konštrukcie, potrebujeme touto štúdiou získať aspoň približné dimenzie prutov v hlavnom nosníku a prvkov mostovky.

Prvková mostovka je priestorová roštová sústava zložená z pozdĺžnikov a priečnikov. Riešenie tejto staticky neurčitej konštrukcie by bolo príliš náročné pre predbežný výpočet. Jednotlivé prvky je vhodnejšie riešiť samostatne.

5.4.1 Pozdĺžnik - empirický výpočet

Začneme návrhom pozdĺžnikov, pretože prenášajú zaťaženie ďalej do mostnej konštrukcie. Pozdĺžniky tvoria spojitý nosník podoprený v bodoch pripojenia na priečnik. Otázkou je tuhosť prípoja na priečnik, ktorý budeme uvažovať zjednodušene ako pružný.

Vnútorné sily stanovíme z [8] podľa empirických koeficientov pre zjednodušenie schémy na prostom nosníku.

Ohybový moment v krajnom poli	$1 \times M_{\max}$
Ohybový moment vo vnútornom poli	$0.8 \times M_{\max}$
Ohybový moment nad priečnikom	$0.75 \times M_{\max}$
Krajná podporová reakcia	$1 \times A_{\max}$
Medziláhlá podporová reakcia	$1.1 A_p$

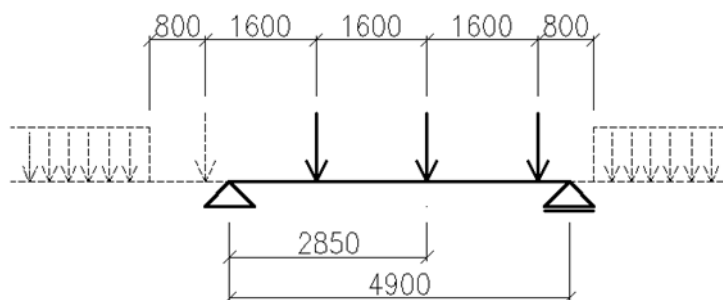
Za predpokladu že M_{\max} je najväčší ohybový moment, A_{\max} je maximálna reakcia a A_p je hodnota zaťaženia priečnika jedným pásom pozdĺžnikov.

Ďalej je uvažované zaťaženie z predchádzajúceho výpočtu z kapitoly 5.2.

Pozdĺžnik		Pozdĺžnik	
NÁVRHOVÉ HODNOTY		NÁVRHOVÉ HODNOTY	
Spojité zaťaženie	102.24 kN/m	Spojité zaťaženie	83.65 kN/m
Osamelá sila	319.50 kN	Osamelá sila	261.41 kN

Návrhové vnútorné sily na pozdĺžniku od pohyblivého zaťaženia dostaneme nájdením kritickej polohy na prostom nosníku pomocou tzv. bremenového kritéria, ktorého vysvetlenie nie je predmetom mojej práce.

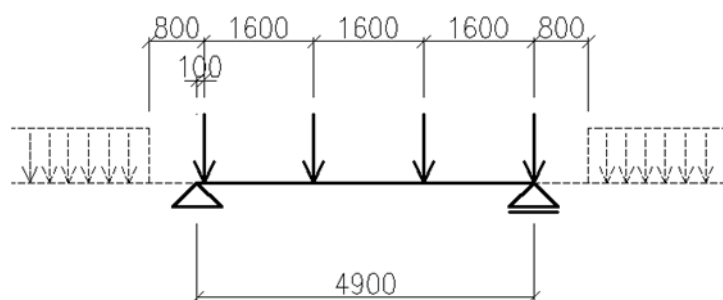
Následne vypočítame maximálny moment na prostom nosníku podľa schémy na (obr. 5-7).



obr. 5-7 Kritická poloha zaťaženia pre maximálny moment

Dôležitým faktom je, že most je v prechodnici, a preto nesmieme zabudnúť počítať zvlášť vnútorný aj vonkajší pozdĺžnik.

Pre výpočet maximálnej reakcie A_{max} zmeníme polohu zaťaženia tak, aby sila pôsobila priamo nad podporov a súčet síl od zaťaženia bol čo najväčší.



obr. 5-8 Kritická poloha zaťaženia pre maximálnu reakciu

Výsledné hodnoty vnútorných síl pre empirický výpočet, pre vonkajšiu koľaj 55% a pre vnútornú 45 % celkového zaťaženia.

		45%	55%
		[kNm]	[kNm]
Ohybový moment v krajnom poli	$1 \times M_{\max}$	516.81	631.66
Ohybový moment vo vnútornom poli	$0.8 \times M_{\max}$	413.45	505.33
Ohybový moment nad priečnikom	$0.75 \times M_{\max}$	387.61	473.75
Krajná podporová reakcia	$1 \times R_{\max}$	533.47	631.66
Medziláhlá podporová reakcia	$1.1 \times A_p$	1173.63	1389.65

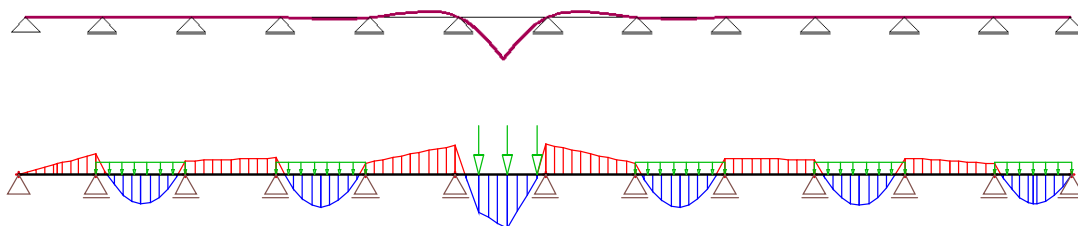
5.4.2 Pozdĺžnik – výpočet pomocou vplyvových čiar

Vplyvové čiary sa využívajú pre vyjadrenie pôsobenia pohyblivého zaťaženia na konštrukcii. Pomocou nich dokážeme nájsť kritickú polohu pohyblivého zaťaženia pre skúmané vnútorné sily, ale aj vplyv zaťaženia na ľubovoľné skúmané miesto v konštrukcii.

Pomocou nadobudnutých znalostí sme schopný vykresliť vplyvovú čiaru pre každú skúmanú vnútornú silu na spojitom nosníku.

Pre každé skúmané maximum vnútorných síl bude vykreslená vplyvová čiara, následne umiestnené a vypočítané zaťaženie, tak aby vyvolalo maximálny účinok. Hodnoty zaťaženia budú rovnaké ako pri empirickom výpočte.

Maximálny moment vo vnútornom poli



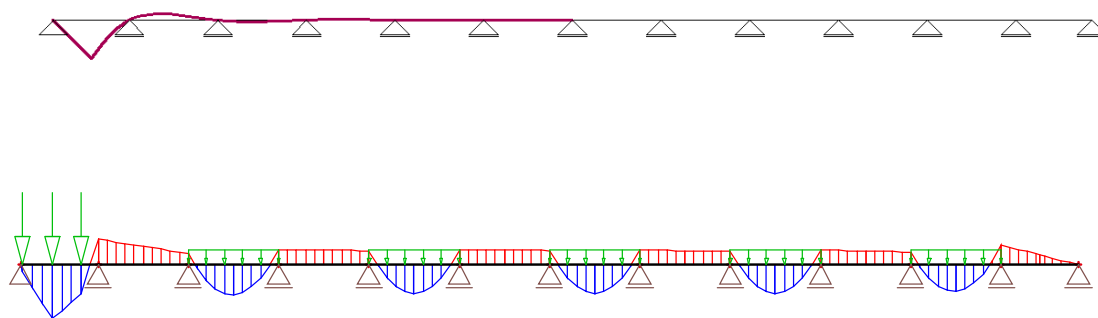
Pre vnútornú koľaj 45%

$M_{\max, \text{pole}}$ 328.88 kNm

Pre vonkajšiu koľaj 55%

$M_{\max, \text{pole}}$ 401.98 kNm

Maximálny moment v krajnom poli



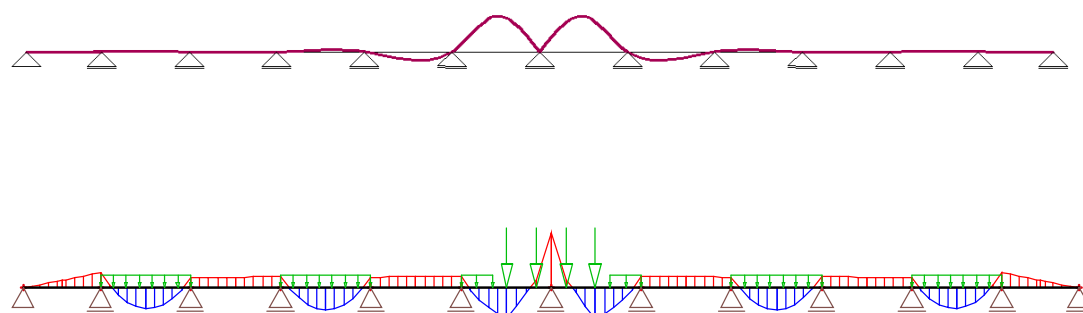
Pre vnútornú koľaj 45%

$M_{\max,kr.po}$ 314.56 kNm

Pre vonkajšiu koľaj 55%

$M_{\max,kr.pole}$ 384.50 kNm

Maximálny moment nad podporou



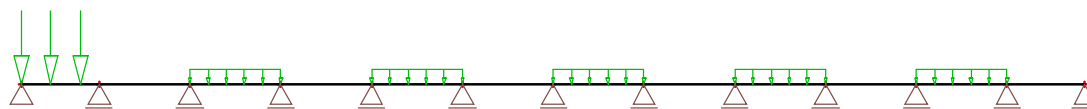
Pre vnútornú koľaj 45%

$M_{\max,podp}$ 415.17 kNm

Pre vonkajšiu koľaj 55%

$M_{\max,podpora}$ 507.44 kNm

Maximálna krajná reakcia v podpore



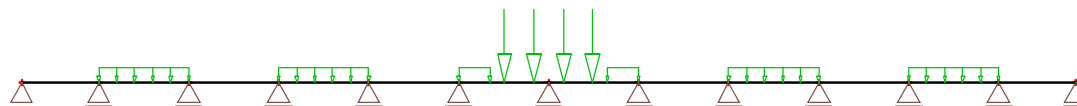
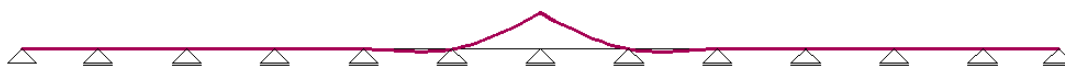
Pre vnútornú koľaj 45%

R_{krajna} 450.89 kNm

Pre vonkajšiu koľaj 55%

R_{krajna} 551.10 kNm

Maximálna krajná reakcia v podpore



Pre vnútornú koľaj 45%

R_{pole} 887.38 kNm

Pre vonkajšiu koľaj 55%

R_{pole} 1084.59 kNm

5.4.3 Pozdĺžnik – porovnanie hodnôt

Porovnanie vypočítaných hodnôt vnútorných síl oboma vyššie spomenutými hodnotami a ich percentuálne rozdiely.

Pre vnútornú koľaj 45%

	Empiricky	Pričink.	rozdiel	% rozdiel
Ohybový moment v krajnom poli	516.81	314.56	202.25	39.13
Ohybový moment vo vnútornom poli	413.45	328.88	84.57	20.45
Ohybový moment nad priečnikom	387.61	415.17	-27.56	-7.11
Krajná podporová reakcia	533.47	450.89	82.58	15.48
Medziláhlá podporová reakcia	1173.63	887.38	286.25	24.39

Pre vonkajšiu koľaj 55%

	Empiricky	Pričink.	rozdiel	% rozdiel
Ohybový moment v krajnom poli	631.66	384.50	247.16	39.13
Ohybový moment vo vnútornom poli	505.33	401.98	103.35	20.45
Ohybový moment nad priečnikom	473.75	507.44	-33.70	-7.11
Krajná podporová reakcia	631.66	551.10	80.56	12.75
Medziláhlá podporová reakcia	1389.65	1084.59	305.06	21.95

Z porovnania výsledných hodnôt môžeme vidieť, že sa jasne líšia. V nasledujúcom postupe práce, pri tvorbe priestorového modelu sme došli k záveru, že aj keď je prevedenie na prostý nosník veľmi zjednodušené udané koeficienty násobkov M_{\max} a A_{\max} sú odvodené od porovnania so skutočnými hodnotami. Preto zahrňujú pružné pripojenie pozdĺžnikov na priečnik a výsledné hodnoty sú správne a na strane bezpečnej.

Zato zjednodušenie na spojitý nosník neodpovedá realite, pretože by spoj priečnika a pozdĺžnika musel mať oveľa väčšiu tuhosť. V našom prípade sa prevedenie spoja svojou tuhosťou prikláňa skôr na možnosť zjednodušenia klbovým prípojom klbového prípoja.

Posudok pozdĺžnika na najväčší ohybový moment.

Zatriedenie prierezu pozdĺžnika

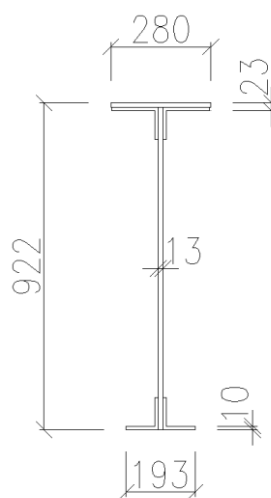
$$\begin{array}{lll} \text{výška stojny } c = & 889 \text{ mm} & \frac{c}{t} = \frac{889}{13} = 68,4 \leq 72\varepsilon \\ \text{hrúbka stojny } t = & 13 \text{ mm} & \end{array}$$

trieda prierezu 1 plasticky

Prierezové charakteristiky

$$\begin{array}{lll} A = & 2.30\text{E-}02 \text{ m}^2 & \\ W_{y,el} = & 5.20\text{E-}03 \text{ m}^3 & \\ I_{y,el} = & 2.82\text{E-}03 \text{ m}^4 & \\ f_y = & 230 \text{ MPa} & \\ \gamma_{M0} = & 1.15 & \text{starý materiál} \end{array}$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{230}{1,15} = 200 \text{ MPa}$$



Mometnová únosnosť

$$M_{Rd} = W_{y,el} * f_{yd} = 0.0167 * 204.35 * 10^3 = 1039.4 \text{ kNm}$$

Posudok

$$M_{Rd} \geq M_{Sd}$$

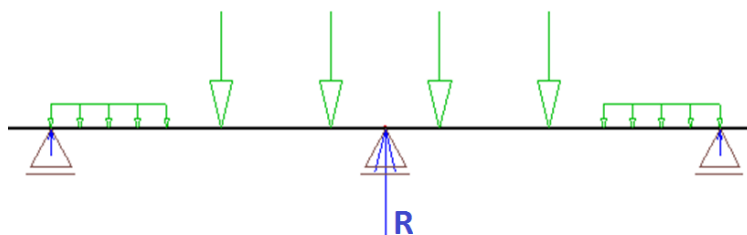
$$1039.4 \geq 631.66$$

VYHOVUJE

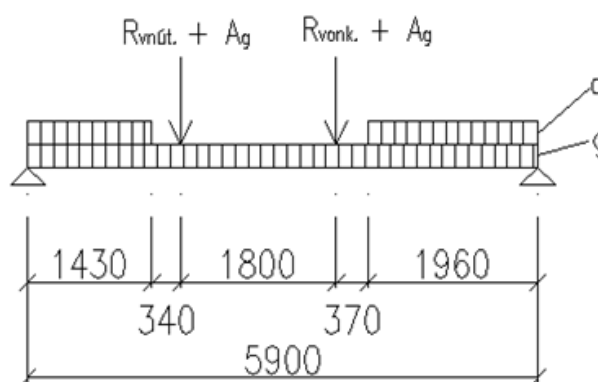
rezerva návrhu 39.23 %

5.4.4 Priečník

Tento prvok mostovky je predstavený v kap. 2.6.1 jeho zjednodušený výpočet pozostáva z posudku na ohyb kolmý k osi priečniku od reakcie pozdĺžnika (obr. 5-9), vlastnej hmotnosti a dlhodobého náhodilého zaťaženia (obr. 5-10). Pre vystihnutie skutočného stavu sú sily uvažované excentricky.



obr. 5-9 Schéma reakcie vyvolanej od pozdĺžnika na priečník



obr. 5-10 Statická schéma priečnika

stále zaťaženie

vl. hmotnosť priečniku 2 kN/bm	$g =$	2 kN/m
vl. hmotnosť 2 kN/bm od pozdĺžnika	$A_g = 4.9 \cdot 2 =$	9.80 kN

dlhodobé náhodilé

podlaha mimo koľaje vl. hmotnosť 1 kN/m ²	$q = 4.9 \cdot 1 =$	4.90 kN/m
--	---------------------	-----------

krátkodobé náhodilé

Reakcia od pozdĺžnika pri prejazde vlaku	$R_{\text{vonk.}} =$	1389.65 kN
(z empirického výpočtu)	$R_{\text{vnút.}} =$	1173.63

výška stojny c =	1074 mm	$\frac{c}{t} = \frac{1074}{13} = 82,6 \leq 83\varepsilon$
hrúbka stojny t =	13 mm	

trieda prierezu 2 plasticky

Zatriedenie prierezu podľa najväčšieho pomeru výšky a šírky podľa tabuľky v prílohe č. 3.

výška stojny c =	1074 mm	$\frac{c}{t} = \frac{1074}{13} = 82,6 \leq 83\varepsilon$
hrúbka stojny t =	13 mm	

trieda prierezu 2 plasticky

Prierezové charakteristiky

A = 3.38E-03 m²

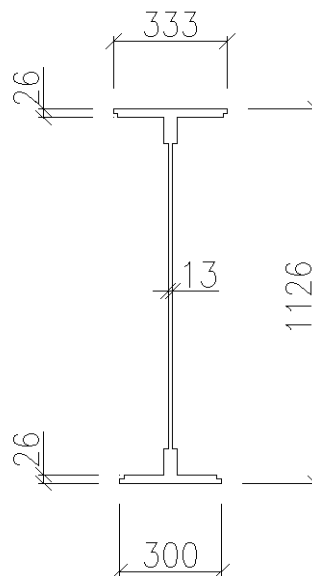
W_{y,el} = 1.67E-02 m³

I_{y,el} = 7.13E-03 m⁴

f_y = 230 MPa

γ_{M0} = 1.15 starý materiál

$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{230}{1,15} = 200 \text{ MPa}$



Momentnová únosnosť

$$M_{Rd} = W_{y,el} * f_{yd} = 0.0167 * 204.35 * 10^3 = 3334 \text{ kNm}$$

Posudok

$$M_{Rd} \geq M_{Sd}$$

$$3334 \geq 2025.19$$

VYHOVUJE

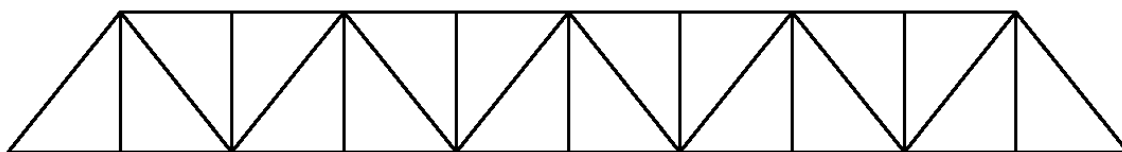
rezerva návrhu 39.26 %

5.5 RUČNÝ VÝPOČET HLAVNÉHO NOSNÍKA

Pri zjednodušenej globálnej analýze sa priehradové hlavné nosníky považujú za rovinné prútové sústavy s kĺbovým spojením prútov v jednotlivých uzloch. Zaťaženie sa predpokladá len v uzloch. Za týchto podmienok je tento priehradový nosník staticky určitý a prúty sú namáhané len osovými silami. Poloha mostovky stanovuje priame zaťaženie uzlov reakciami mostovky cez priečniky v uzloch pripojené. Prenos do horného pásu sprostredkúvajú zvislice a diagonály.

5.5.1 Výpočet vlastnej hmotnosti

Pri navrhovaní priehradového trémového mostu sa vychádza zo schémy železničného mostu s dolnou mostovkou, ktorý má priamo pásové hlavné nosníky kosoúhlej sústavy s podružnými zvislicami vid'.(obr. 5-11).



obr. 5-11 Schéma mostu

Tento typ mostu sa nezhoduje s nami vyšetrovaným mostom, avšak na predbežný výpočet bude z časti postačovať.

Najdôležitejším faktorom ovplyvňujúcim výpočet je stanovenie vlastnej hmotnosti konštrukcie, hlavne pri prvotnom návrhu, keď nepoznáme jej skutočné dimenzie.

Pre porovnanie presnosti odhadovanej hmotnosti som vytvoril porovnanie s detailným priestorovým modelom z programu Scia Engineer.

Hmotnosť z programu Scia Engineer

model 211.423 ton

plechy + zábradlie 34.44 ton

Súčet hmotnosti 245.86 ton

rezerva 10 % 24.59

Celkový súčet vl. hmotnosti 270.45 ton

Súčiniteľ pre vlastnú hmotnosť γ_g 1.35

Návrhová hodnota celkovej hmotnosti **365.11 ton**

Hmotnosť priehradových nosníkov odhadom Tabuľka 5-4.

priehradov. Nosník 870.0 kg/m

počet metrov 364.1 m

hmotnosť **316.8 ton**

Tabuľka 5-4 Odhad hmotnosti na b/m [9]

Druh konštrukcie		Konštrukcie otvorená			Konštrukcie uzavřená			
rozpětí (m)		40	50	60	50	60	80	100
mostovka	otevřená	630	820	920	730	870	1 260	1 620
	plechová přímo pojižděná	850	1 010	1 180	920	910	1 340	1 640

Hmotnosť ostatného vybavenia

	počet [ks]	dĺžka [m]	kg/bm	vl. Hmotnosť [t]
priečníky	13	1.8	0.5	11.7
podelníky	2	57.4	0.2	22.96
pražce	52	2.5	0.06	7.8
kolaje	2	57.4	0.05	5.74
plechy + zábradlie	2	57.4	0.3	34.44
Súčet hmotnosti				399.4

Celkový súčet vlastnej hmotnosti odhadom	399.4 ton
Súčiniteľ pre vlastnú hmotnosť γ_g	1.35
Návrhová hodnota celkovej hmotnosti	539.2 ton

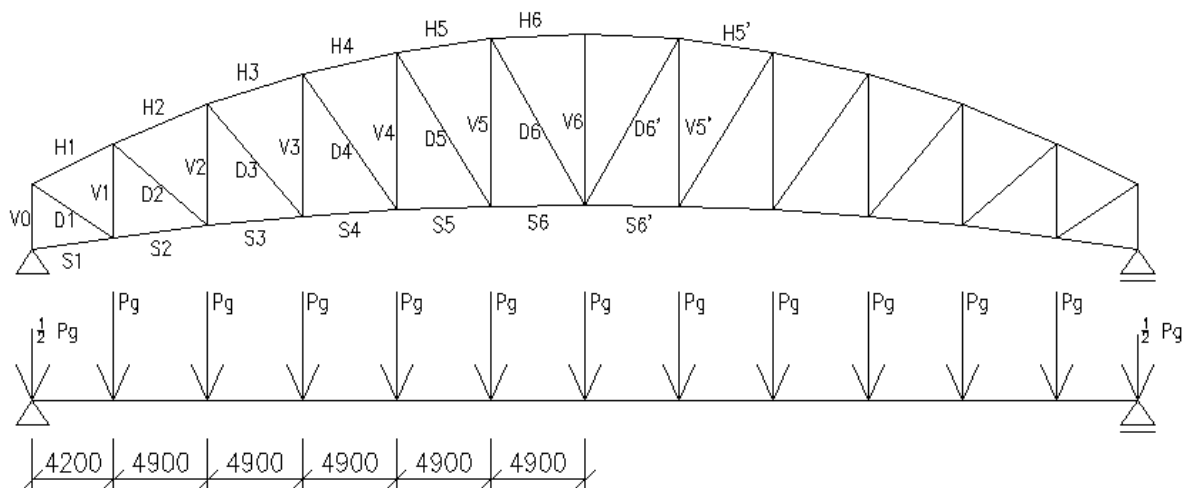
Porovnanie vl. hmotnosti

Scia model	365.11 ton
odhad	539.22 ton
odhad sa je na strane bezpečnej s	47.69 % rezervou

Je to spôsobené tým, že skutočná hmotnosť priehradového nosníka je najviac 0.5 t/bm pričom tabuľka uvažuje 0.87 t/bm.

5.5.2 Výpočet ohybových momentov na hlavnom nosníku

Za uvedených predpokladov v kapitole 5.5 sa osovú silu v prútoch vypočítajú na zjednodušenej schéme priehradového trámu ako prostého nosníku (obr. 5-12). Vzhľadom na symetriu mosta môžeme počítať iba polovicu hodnôt a zvyšné zrkadliť.



obr. 5-12 Schéma výpočtu priehradového nosníku

Z vyššie uvedeného výpočtu vlastnej hmotnosti určíme zaťaženie na zjednodušený model podľa vyššie uvedených predpokladov.

Sila reprezentujúca vlastnú hmotnosť konštrukcie v návrhovej hodnote.

$$P_g = 149.2373 \text{ kN}$$

Výsledkom budú ohybové momenty od vlastnej hmotnosti, pre každý styčník priehradovej konštrukcie (obr. 5-13).



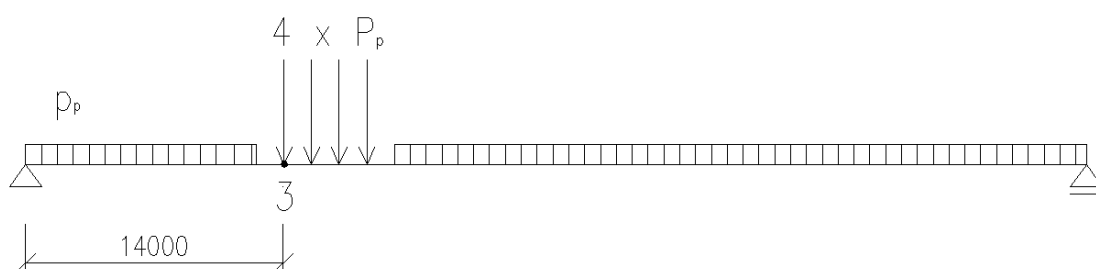
obr. 5-13 Momenty od vlastnej hmotnosti

Pre náhodilé zaťaženie použijeme schému zaťažovacieho vlaku model 71, ktorý umiestnime v každom styčníku tak, aby vyvolal najväčší ohybový moment.

Návrhová hodnota pre pohyblivé zaťaženie sa uvažuje konzervatívne pre vonkajšiu koľaj. Jeho polohu zistíme podľa Winklerového kritéria.

$$P_p = 246.75 \text{ kN}$$

$$p_p = 78.96 \text{ kN/m}$$



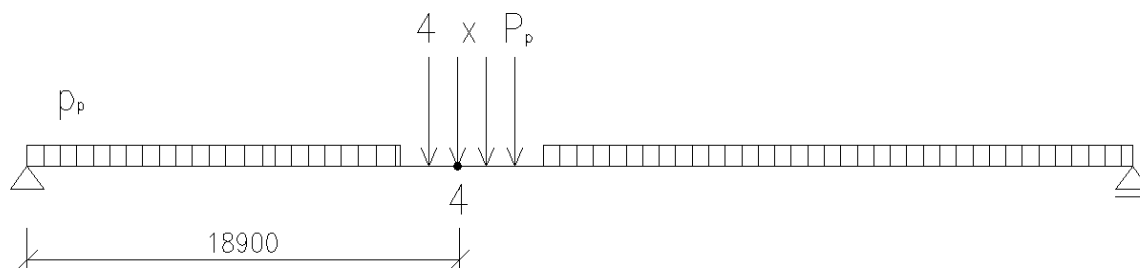
obr. 5-14 Poloha zaťaženia pre bod 1,2,3

Poloha zaťaženia pre styčníky 1,2,3 je pod prvou silou podľa Winklerového kritéria

$$\sum_{i=1}^{k-1} F_i \leq \frac{x}{L} \sum_{i=1}^n F_i \leq \sum_{i=1}^k F_i$$

$$0 \leq \frac{14}{57,4} * 987 \leq 740,25$$

$$0 \leq 240,73 \leq 740,25$$



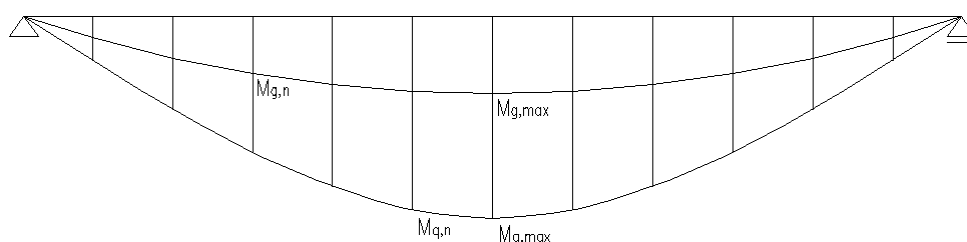
obr. 5-15 Poloha zaťaženia pre bod 4,5,6

Pre ďalšie body a sústava posunie o jednu silu doľava, aby vyvolala najväčší ohyb. moment.

$$246,75 \leq \frac{18,9}{57,4} * 987 \leq 493,5$$

$$246,75 \leq 324,99 \leq 493,5$$

Výsledné ohybové momenty získame sčítaním dielčích výsledkov od vlastnej hmotnosti a pohyblivého zaťaženia vzhľadom na platnosť superpozície.



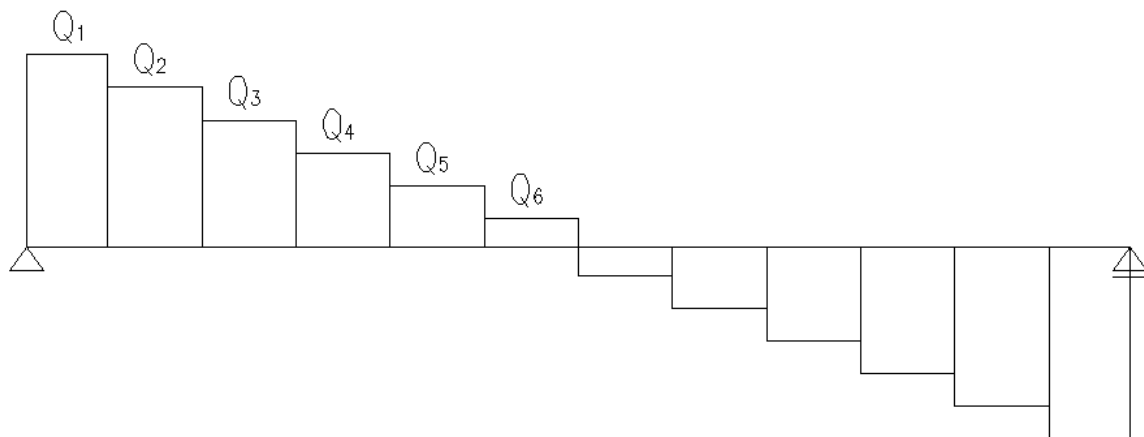
obr. 5-16 Schéma súčtu momentov

Tabuľka 5-5 Veľkostí ohybových momentov

Bod	$M_{g,i}$ [kNm]	$M_{g,i}$ [kNm]	$M_{celk,i}$ [kNm]
0	0.0	0.0	0.0
1	3447.4	10662.3	14109.7
2	6738.1	20832.4	27570.5
3	9297.5	28833.7	38131.2
4	11125.6	34539.2	45664.8
5	12222.5	37954.5	50177.0
6	12588.2	39071	51659.2

5.5.3 Výpočet posúvajúcich síl na hlavnom nosníku

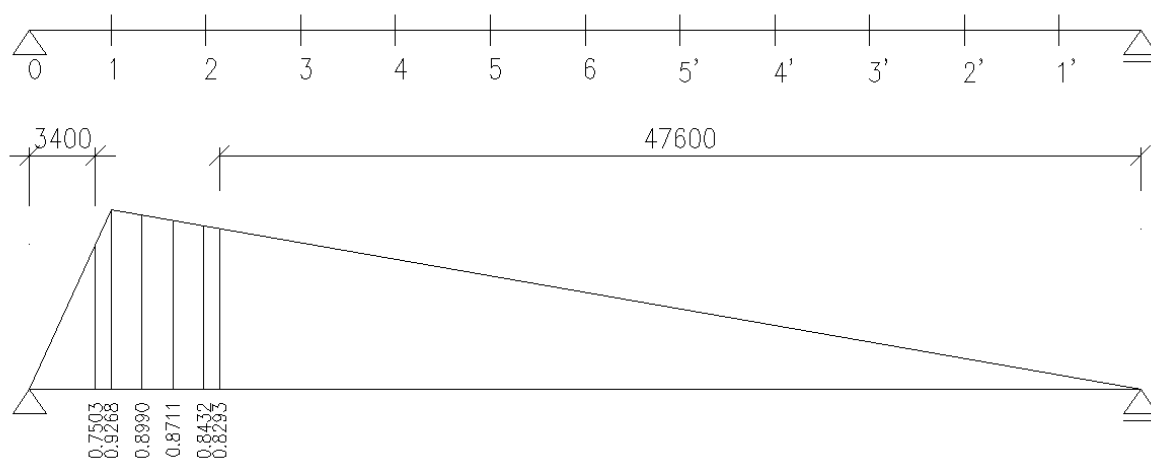
Obdobne budeme pokračovať pri výpočte posúvajúcich síl na prostom nosníku reprezentujúcom priehradový trám od vlastnej hmotnosti a od pohyblivého zaťaženia.



obr. 5-17 Schéma posúvajúcich síl od vlastnej hmotnosti

Posúvajúce sily od pohyblivého zaťaženia sa budú počítať za pomoci vplyvových čiar pomocou ktorých zistíme ich kritickú polohu. Pričom schéma zaťaženia bude stále model 71.

Na obrázku (obr. 5-18) je vidieť hodnoty vplyvových čiar pre kritickú polohu zaťažovacieho modelu.



obr. 5-18 Vplyvové čiary pre max. posúvajúcu silu v bode 1

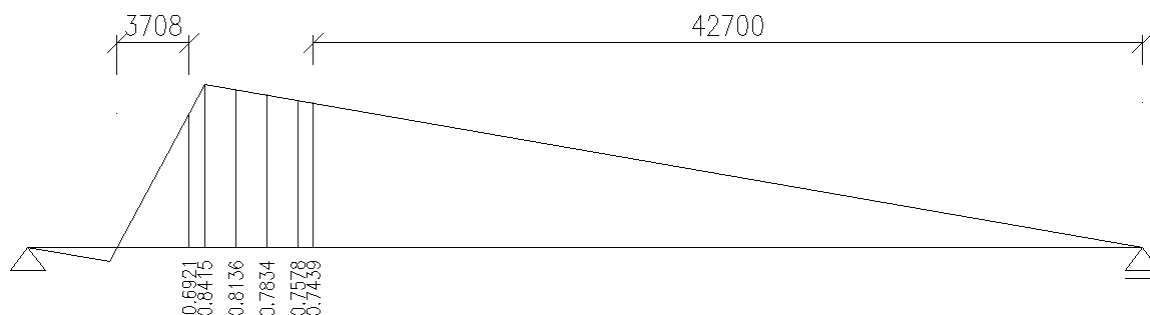
V Tabuľka 5-6 je názorný výpočet k obrázku (obr. 5-18).

Tabuľka 5-6 Výpočet posúvajúcej sily v bode 1

Bod 1	hodnota vplyv. čiary	zaťaženie [kN]	posvajúcej sily [kN]		
Jednotlivé sily	0.9268	246.7515	228.69		
	0.899		221.83		
	0.8711		214.95		
	0.8432		208.06		
Pole 0 - 1	hodnota vplyv. čiary	priem. pořadnice	zaťaženie [kN/m]	dĺžka oblasti	poúvajúcej sily [kN]
spojité	0.7503	0.3752	78.9604752	3.4	100.71
zaťaženie	0.8293	0.4147		47.6	1558.47

Súčet posúvajúcich síl poli **2532.71 kN**

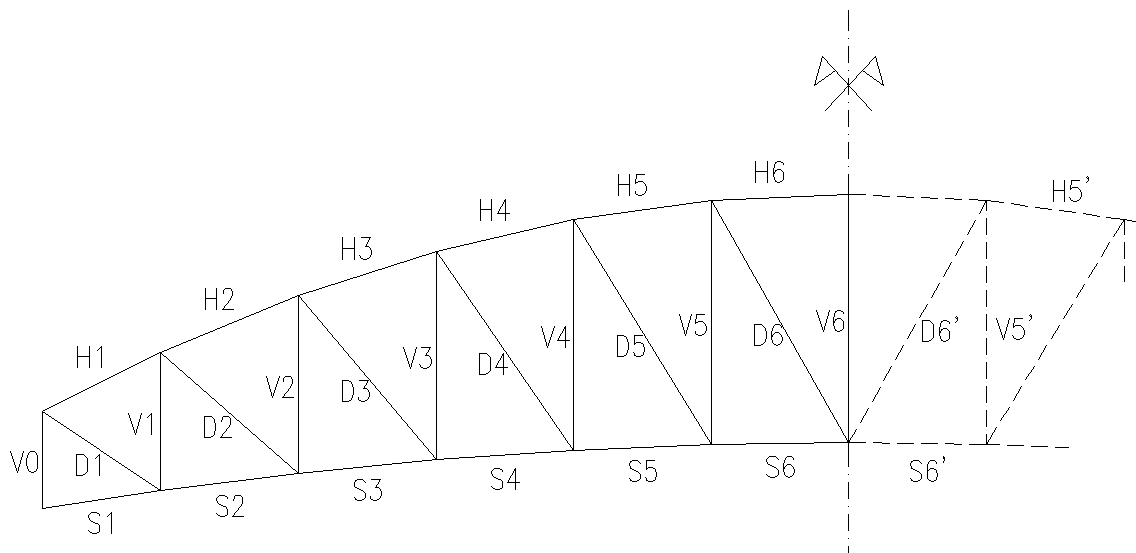
Pre ďalší bod bude postup obdobný, uvedieme iba schému, ktorá bude nasledovať (obr. 5-19). Výpočet ostatných hodnôt je uvedený v prílohe č.5.



obr. 5-19 Vplyvové čiary pre max. posúvajúcu silu v bode 2

5.5.4 Výpočet normálových síl v prvkoch hlavného nosníku

Z ohybových momentov a posúvajúcich síl získaných na prostom nosníku pomocou vzťahov z [1], zistíme normálové sily v každom prvku priehradového nosníka.



obr. 5-20 Schéma označenia prvkov priehradového nosníka

Výpočet osových síl v pásach

$$S_{Ed,i} = -H_{Ed,i} = \frac{M_{Ed,i}}{h} \quad (14.)$$

Spodný pás	Horný pás	výška h [m]	Normálová sila [kN]
$S_{ed,1}$	$-H_{ed,1}$	4.16	3388.49
$S_{ed,2}$	$-H_{ed,2}$	5.61	4916.27
$S_{ed,3}$	$-H_{ed,3}$	6.87	5550.39
$S_{ed,4}$	$-H_{ed,4}$	7.82	5839.49
$S_{ed,5}$	$-H_{ed,5}$	8.45	5938.11
$S_{ed,6}$	$-H_{ed,6}$	8.76	5897.17

h	výška priehradového nosníka
$M_{Ed,i}$	ohybový moment v i-tom poli
$H_{ed,i}$	normálová sila v i-tom dolnom prute
$S_{ed,i}$	normálová sila v i-tom hornom prute

Výpočet osových síl v diagonálach

$$D_{Ed,i} = \pm \frac{Q_{i-1,i}}{\sin \alpha} \quad (15.)$$

	posúvajúca sila			normálová	
	$Q_{g,i}$	$Q_{p,i}$	$Q_{i-1,i}$	uhol α [°]	sila [kN]
$D_{Ed,1}$	820.81	2532.71	3353.51	42	5011.75
$D_{Ed,2}$	671.57	2143.86	2815.43	48	3788.54
$D_{Ed,3}$	522.33	1765.44	2287.77	56	2759.55
$D_{Ed,4}$	373.09	1412.80	1785.89	59	2083.48
$D_{Ed,5}$	223.86	1115.93	1339.79	61	1531.85
$D_{Ed,6}$	74.62	845.25	919.87	61	1051.73

$D_{Ed,i}$	normálová sila v i-tej diagonále
$Q_{i-1,i}$	posúvajúca sila v príslušnom poli
$\sin \alpha$	uhol zvierajúci diagonálov k spodnému pásu

5.5.5 Zhrnutie výsledkov ručného výpočtu vnútorných síl

Pre kontrolu výsledkov z prostého nosníku bol vymodelovaný spodný parabolický pás, ktorý lepšie reprezentuje geometriu vyšetrovanej konštrukcie. V Tabuľka 5-7 je vidieť, že zakrivenie nosníku nemá výrazný vplyv na vnútorné sily.

Tabuľka 5-7 Porovnanie výsledkov medzi rovným a zakriveným nosníkom

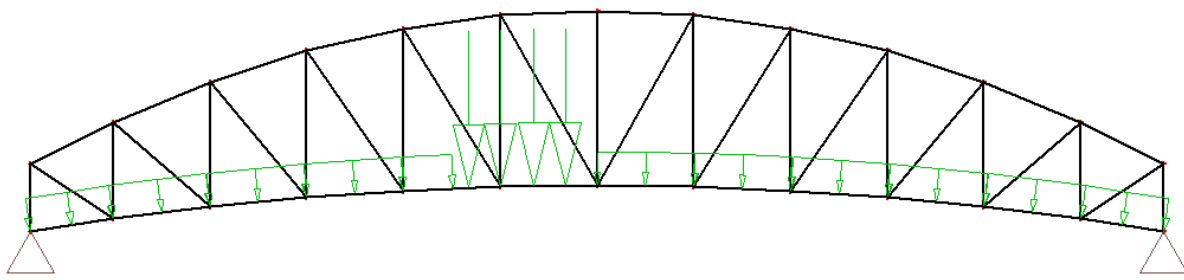
Pole	Ručný výpočet prostý nosník		SCIA oblúkový nosník		rozdiel %	
	M _{celk.}	Q _{celk.}	M _{celk.}	Q _{celk.}	M _{celk.}	Q _{celk.}
1	14109.7	3353.51	13959.4	3316.9	1.1	1.1
2	27570.5	2815.43	27316.9	2799.9	0.9	0.6
3	38131.2	2287.77	37711.6	2236.9	1.1	2.3
4	45664.8	1785.89	44640.6	1670.7	2.3	6.9
5	50177	1339.79	49076.5	1348.5	2.2	-0.6
6	51659.2	919.87	50586.5	980.5	2.1	-6.2

Vzhľadom na odlišnú geometriu priehradového nosníka bol vytvorený kontrolný model skutočnej geometrie v programe Scia Engineer a získané hodnoty normálových síl pre ostatné prvky konštrukcie. Rozdiely vo výsledkoch sú značné, čo sa dalo predpokladať a preto sa vytvorilo toto porovnanie. V Tabuľka 5-8 sú zhrnuté hodnoty a ich percentuálny rozdiel.

Odlíšnosti

Najväčší rozdiel vychádza z predpokladu že pôvodný model ručného výpočtu uvažuje **prvú tlačенú diagonálu** a náš model má **prvú diagonálu namáhanú na ťah**. Toto bolo nutné zohľadniť pri výpočte.

Druhý nesúlad vyplývajúci z geometrie je ten, že pôvodný model má **podružné zvislice** slúžiace len na skrátenie vzpernej dĺžky tlačeneho pásu a v [1] im neprisúva žiadne vnútorné sily. V našom modeli zvislice prenášajú značnú časť zaťaženia, preto museli byť dopočítané samostatne z prútovej schémy nosníka v rovine a pohyblivého zaťaženia vid'. (obr. 5-21).



obr. 5-21 Schéma priehradového nosníka pre výpočet v rovine

Tabuľka 5-8 Porovnania vnútorných síl

Pole	Ručný výpočet				Scia zjednodušený model				rozdiel v %			
	S	H	D	V	S+	H+	D*	V	S	H	D	V
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-4537.6	0	0	0	100
1	3388.5	3388.5	5011.7	0.0	48.65	4387.3	4673.7	-2347	6865	-23	7	100
2	4916.3	4916.3	3788.5	0.0	3926.7	6450.7	2758.5	-1161.5	25	-24	37	100
3	5550.4	5550.4	2759.6	0.0	5902.7	7376.7	1748.7	-395.24	-6	-25	58	100
4	5839.5	5839.5	2083.5	0.0	6712	7768.6	1047	348.35	-13	-25	99	100
5	5938.1	5938.1	1531.9	0.0	7409.7	7837	658.58	837.2	-20	-24	133	100
6	5897.2	5897.2	1051.7	0.0	7581.3	7705.4	329.68	707.29	-22	-23	219	100

* pre dosiahnutie maximálnych síl v diagonálach vyklbovaná celá sústava včetně pásov

+ pre maximálne vnútorné síly sme použili nevyklbovaný model

5.6 POSUDOK VYBRANÝCH PRÚTOV HLAVNÉHO NOSNÍKA

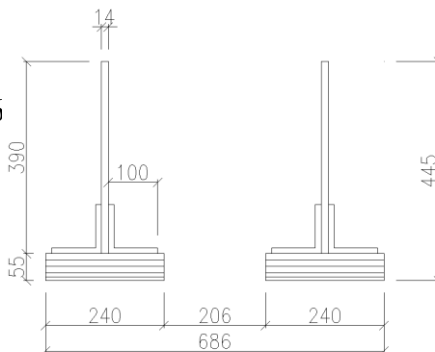
Kapitola obsahuje posudok štyroch základných prvkov priehradového trámu, a to spodný a horný pás v strednom poli na vonkajšej strane oblúku: prvú zvislicu a prvú diagonálu.

Spodný pás

Posudok na ťah

Posudok spodného pásu v strednom poli 5 - 6
skladaný nítovaný profil spodného pásu

$$N_{ed} = 5897.17 \text{ kN}$$



Názov	počet [ks]	plocha
Stojna 390x14	2	1.09E-02 m ²
L profil L 100x100x1	4	9.02E-03 m ²
Plech 13x240	6	1.87E-02 m ²
Plech 8x240	4	7.68E-03 m ²

Spolu 4.63E-02 m²

Posúdenie

$$N_{Rd} = A_{skut} * f_{yd} \quad (16.)$$

f_{yd} 230 MPa

A_{skut} 4.63E-02 m²

N_{Rd} 10659.1 kN

$$N_{Rd} \geq N_{Ed}$$

$$10659.12 \geq 5897.17$$

VYHOVUJE

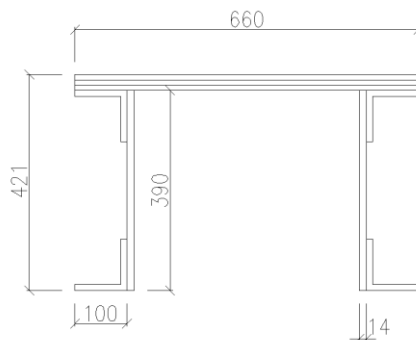
Rezerva návrhu 44.67 %

Horný pás

Posudok na prostý tlak

Posudok spodného pásu v strednom poli 5 - 6
skladaný nítovaný profil spodného pásu

N_{ed} 5897.17 kN



Názov	počet [ks]	plocha
Stojna 390x14	2	1.09E-02 m ²
L profil L 100x100x1	4	9.02E-03 m ²
Plech 10x660	2	1.32E-02 m ²
Plech 11x660	1	7.26E-03 m ²

Spolu 4.04E-02 m²

Posúdenie vzorec (16)

f_{yd} 230 MPa

A_{skut} 4.04E-02 m²

N_{Rd} 9292.92 kN

$$N_{Rd} \geq N_{Ed}$$

$$9292.92 \geq 5897.17$$

VYHOVUJE

Rezerva návrhu 36.54 %

Posúdenie na vzperný tlak

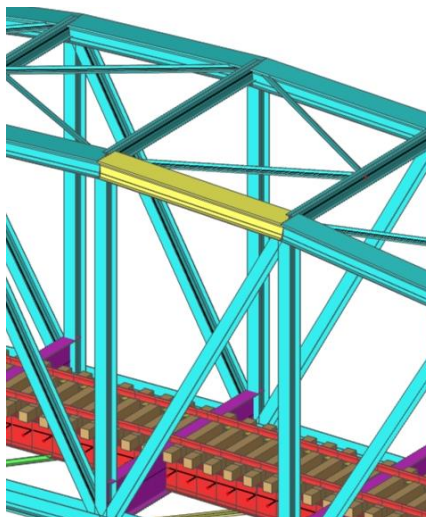
Vzperná dĺžka

$$L_{cr,y} = 4.905 \text{ m}$$

osova vzdialenosť zvislic

$$L_{cr,z} = 4.905$$

zabezpečené priečnym horným stužidlom



Moment zotrvačnosti

$$I_y = 8.43 \text{E-}04 \text{ m}^2$$

$$I_z = 1.90 \text{E-}03 \text{ m}^2$$

Polomer zotrvačnosti

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{8,4341 * 10^{-4}}{4,0404 * 10^{-2}}} = 144 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{1,90 * 10^{-3}}{4,0404 * 10^{-2}}} = 217 \text{ mm}$$

Kritická štíhlosť

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4,905}{144} = 33.949$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{4,905}{217} = 22.610$$

Zrovnávací štíhlosť

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{230}} = 1.01$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * 0.81 = 94.92$$

Pomerná štíhlost'

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{33.95}{94.92} = 0.35768$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{22,610}{94.92} = 0.23821$$

Súčiniteľ vzpernosti

$$\alpha = 0.49 \text{ (krivka vzpernosti c)}$$

$$\varphi_y = 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] \quad (17.)$$

$$\varphi_y = 0,5 * [1 + 0.49 * (0.358 - 0.2) + 0.358^2] = 0.60$$

$$\varphi_z = 0,5 * [1 + \alpha_1 * (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] \quad (18.)$$

$$\varphi_z = 0,5 * [1 + 0.49 * (0.238 - 0.2) + 0.238^2] = 0.54$$

$$\chi_y = \frac{1}{\varphi_y + \sqrt{\varphi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} \quad (19.)$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.60 + \sqrt{0.60^2 - 0.358^2}} = 0.767$$

$$\chi_z = \frac{1}{0.54 + \sqrt{0.54^2 - 0.238^2}} = 0.888$$

$$N_{Rd,y} = \chi_y * \frac{A * f_{yd}}{\gamma_{M0}} \quad (20.)$$

$$N_{Rd,y} = 0.767 * \frac{4.04 * 10^{-2} * 230}{1.0} = 7130.0 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 5897.17 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} \geq N_{Ed}$$

$$7130.0 \geq 5897.17 \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

Rezerva návrhu 17.29 %

$$N_{Rd,z} = 0.888 * \frac{4.04 * 10^{-2} * 230}{1.0} = 8254.0 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 5897.17 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} \geq N_{Ed}$$

$$8254.0 \geq 5897.17 \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

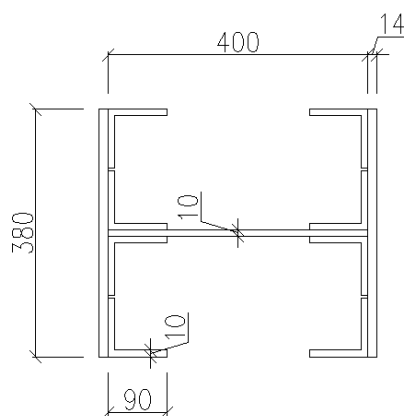
Rezerva návrhu 39.97 %

Diagonála

Posudok na ťah

Posudok prvej diagonály na ťah

$$N_{ed} = 5011.75 \text{ kN}$$



Názov	počet [ks]	plocha
Stojna 400x10	1	4.00E-03 m ²
L profil L 90x90x10	8	1.36E-02 m ²
Plech 14x380	2	1.06E-02 m ²
Spolu		2.82E-02 m ²

Posúdenie vzorec (16)

f_{yd} 230 MPa

A_{skut} 2.82E-02 m²

N_{Rd} 6495.2 kN

$$N_{Rd} \geq N_{Ed}$$

$$6495.2 \geq 5011.75$$

VYHOVUJE

Rezerva návrhu 22.84 %

Zvislica

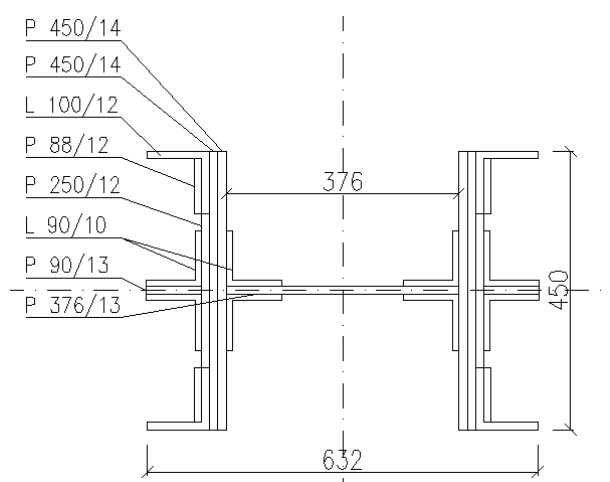
Posudok na tlak

Posudok prvej zvislice na vzperný tlak

N_{ed} 4537.60 kN

Plocha profilu

0.06528 m²



f_{yd} 230 MPa

A_{skut} 6.53E-02 m²

N_{Rd} 15014.2 kN

$$N_{Rd} \geq N_{Ed}$$

$$15014.2 \geq 4537.60$$

VYHOVUJE

Rezerva návrhu 69.7779 %

Posúdenie na vzperný tlak

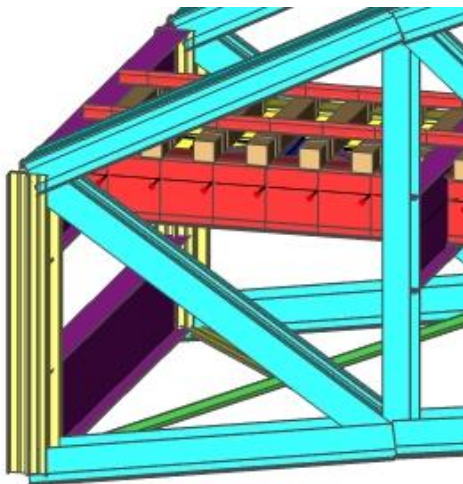
Vzperná dĺžka

$$L_{cr,y} = 3.43 \text{ m}$$

vzdialenosť horného a spodného pásu

$$L_{cr,z} = 3.43 \text{ m}$$

vzdialenosť priečnikov, konzervatívne



Moment zotrvačnosti

$$I_y = 9.59 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_z = 2.97 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Polomer zotrvačnosti

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{9.59 \cdot 10^{-4}}{6.53 \cdot 10^{-2}}} = 121 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{2.97 \cdot 10^{-3}}{6.53 \cdot 10^{-2}}} = 213 \text{ mm}$$

Kritická štíhlosť

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3430}{121} = 28.305$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3430}{213} = 16.080$$

Zrovnávací štíhlosť

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{230}} = 1.01$$

$$\lambda_1 = 93.9 \cdot \varepsilon = 93.9 \cdot 0.81 = 94.92$$

Pomerná štíhlost'

$$\lambda_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{28,305}{94.92} = 0.298$$

$$\lambda_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{16,08}{94.92} = 0.169$$

Súčiniteľ vzpernosti vzorce (17), (18)

$$\alpha = 0.49 \text{ (krivka vzpernosti c)}$$

$$\varphi_y = 0,5 * [1 + 0.49 * (0.298 - 0.2) + 0.298^2] = 0.57$$

$$\varphi_z = 0,5 * [1 + 0.49 * (0.169 - 0.2) + 0.169^2] = 0.51$$

Súčiniteľ vzperu vzorec (19)

$$\chi_y = \frac{1}{0.57 + \sqrt{0.57^2 - 0.289^2}} = 0.950$$

$$\chi_z = \frac{1}{0.51 + \sqrt{0.51^2 - 0.17^2}} = 1.016$$

$$N_{Rd,y} = 0.950 * \frac{2,82 * 10^{-2} * 230}{1.0} = 14264.4 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 4537.60 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} \geq N_{Ed}$$

$$14264.4 \geq 4537.60 \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

Rezerva návrhu 68.19 %

$$N_{Rd,z} = 1.0 * \frac{2,82 * 10^{-2} * 230}{1.0} = 15249.6 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 4537.60 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} \geq N_{Ed}$$

$$15249.6 \geq 4537.60 \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

Rezerva návrhu 70.24 %

Každý prvok pásu vyhovuje, zdanlivo príliš veľké rezervy pri zvislici sú spôsobené dvoma faktormi, ktoré je nutné zohľadniť.

Prvý je ten, že vnútorné sily sú vypočítané iba od kombinácie vlastnej hmotnosti a pohyblivého zaťaženia, tzn. sú značne menšie ako pri kompletnom návrhu.

Druhý je spôsob výpočtu, ktorý uvažuje kĺbové uloženie prútov. Prvá zvislica prenáša torzné sily od krútenia konštrukcie v oblúku a od odstredivých síl od dopravy a je namáhaná ďalšími zložkami ako napr. posúvajúca sila v horizontálnej rovine a ohybový moment z nej plynúci.

5.6.1 Posudok ostatných prútov priehradového nosníka

V Tabuľka 5-9 a Tabuľka 5-10 je prehľadne zhrnutý posudok všetkých prvkov nosníka. Zvýraznené sú polia ktoré určujú štíhlosť prvku a jednotkový pomer využitia únosnosti prútu.

Tabuľka 5-9 Posudok tlačných prútov

Názov	rovina	N_{ed} [kN]	dĺžka [mm]	L_{cr} kritická dĺžka [mm]	I [mm ⁴]	i [mm]	A [mm ²]	λ	λ_1	$\bar{\kappa}$	krivka vzpernosti	súčiniteľ	φ	χ	N_{cr} [kN]	$N_{b,rd}$ [kN]	$N_{ed}/N_{b,rd}$
V0	y	4537.60	3430	3430	9.59E-04	121	6.53E-02	28.31	94.92	0.298	c	0.49	0.569	0.950	168876.1	14268.7	0.32
	z	4537.60	3430	3430	2.97E-03	213	6.53E-02	16.08	94.92	0.169	c	0.49	0.507	1.016	523223.5	15254.3	0.30
V1	y	2347.04	4898	4898	7.26E-05	63	1.84E-02	78.02	94.92	0.822	c	0.49	0.990	0.648	6270.0	2746.2	0.85
	z	2347.04	4898	4898	4.84E-04	162	1.84E-02	30.22	94.92	0.318	c	0.49	0.580	0.940	41797.2	3980.5	0.59
V2	y	1161.51	6318	6318	7.26E-05	63	1.84E-02	100.64	94.92	1.060	c	0.49	1.273	0.506	3768.3	2142.3	0.54
	z	1161.51	6318	6318	4.84E-04	162	1.84E-02	38.98	94.92	0.411	c	0.49	0.636	0.892	25120.9	3776.8	0.31
V3	y	395.24	7423	7423	7.26E-05	63	1.84E-02	118.25	94.92	1.246	c	0.49	1.532	0.413	2729.9	1747.3	0.23
	z	395.24	7423	7423	4.84E-04	162	1.84E-02	45.80	94.92	0.482	c	0.49	0.686	0.853	18198.5	3611.9	0.11
H1	y	3388.49	4697	4697	6.38E-04	150	2.85E-02	31.41	94.92	0.331	c	0.49	0.587	0.933	59934.7	9450.9	0.36
	z	3388.49	15151	15151	1.47E-03	227	2.85E-02	66.73	94.92	0.703	c	0.49	0.870	0.723	13275.2	7319.1	0.46
H2	y	4916.27	5305	5305	7.94E-04	146	3.71E-02	36.26	94.92	0.382	c	0.49	0.618	0.907	58496.2	11944.4	0.41
	z	4916.27	15151	15151	1.78E-03	219	3.71E-02	69.13	94.92	0.728	c	0.49	0.895	0.707	16089.6	9313.5	0.53
H3	y	5550.39	5149	5149	9.15E-04	141	4.57E-02	36.39	94.92	0.383	c	0.49	0.618	0.906	71495.8	14694.5	0.38
	z	5550.39	15151	15151	2.09E-03	214	4.57E-02	70.78	94.92	0.746	c	0.49	0.912	0.696	18899.4	11291.4	0.49
H4	y	5839.49	5029	5029	9.15E-04	141	4.57E-02	35.54	94.92	0.374	c	0.49	0.613	0.911	74948.5	14770.3	0.40
	z	5839.49	5029	5029	2.09E-03	214	4.57E-02	23.49	94.92	0.248	c	0.49	0.542	0.976	171540.4	15825.9	0.37
H5	y	5938.11	4947	4947	9.15E-04	141	4.57E-02	34.96	94.92	0.368	c	0.49	0.609	0.914	77453.8	14822.0	0.40
	z	5938.11	4947	4947	2.09E-03	214	4.57E-02	23.11	94.92	0.243	c	0.49	0.540	0.978	177274.4	15859.2	0.37
H6	y	5897.17	4905	4905	9.15E-04	141	4.57E-02	34.67	94.92	0.365	c	0.49	0.607	0.916	78785.9	14848.5	0.40
	z	5897.17	4905	4905	2.09E-03	214	4.57E-02	22.91	94.92	0.241	c	0.49	0.539	0.979	180323.3	15876.2	0.37

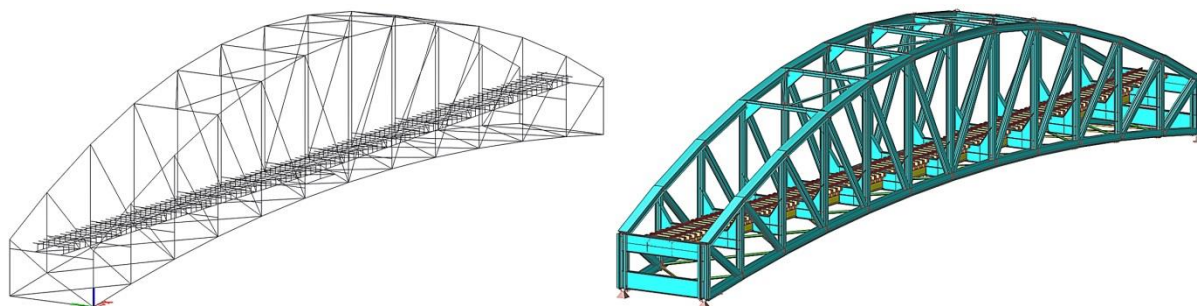
Tabuľka 5-10 Posudok ťahových prútov

Názov	N_{ed} [kN]	L [mm]	A [mm ²]	f_{td} [MPa]	I [mm ⁴]	λ	$N_{b,rd}$ [kN]	$N_{ed}/N_{b,rd}$
S1	3388.49	4248	1.99E-02	230	119	35.70	4587.1	0.74
S2	4916.27	4938	2.89E-02	230	115	42.94	6657.1	0.74
S3	5550.39	4923	4.69E-02	230	107	46.01	10797.1	0.51
S4	5839.49	4912	5.59E-02	230	104	47.23	12867.1	0.45
S5	5938.11	4904	5.59E-02	230	104	47.15	12867.1	0.46
S5	5897.17	4900	5.59E-02	230	104	47.12	12867.1	0.46
D1	5011.75	5045	2.82E-02	230	108	46.71	6495.2	0.77
D2	3788.54	6509	2.18E-02	230	83	78.42	5021.4	0.75
D3	2759.55	7624	2.18E-02	230	54	141.19	5021.4	0.55
D4	2083.48	8612	1.23E-02	230	49	175.76	2832.7	0.74
D5	1531.85	8612	1.24E-02	230	52	165.62	2852.0	0.54
D6	1051.73	9912	1.24E-02	230	55	180.22	2852.0	0.37
V4	348.35	8211	1.84E-02	230	162	50.66	4235.7	0.08
V5	837.20	8684	1.84E-02	230	162	53.58	4235.7	0.20
V6	707.29	8842	1.84E-02	230	162	54.55	4235.7	0.17

6 GLOBÁLNA ANALÝZA PRIEHRADOVÉHO MOSTU POMOCOU PRIESTOROVÉHO MODELU

Prútová konštrukcia s prvkovou mostovkou a dolným priehradovým pozdĺžnym stužením umožňuje svojimi líniovými konštrukčnými prvkami vytvorenie výpočtového modelu priestorovej prútovej sústavy. Hlavné nosníky sa zvyčajne modelujú s rámovými uzlami, s ohybovo tuhými pásmi a tuho alebo kĺbovo pripojenými výplňovými prútmi. Model prípoja závisí od konštrukčného riešenia pripojenia. Dvojstenné pásy prútovej sústavy na rozdiel od jednostenných, umožňujú pomerne tuhé pripojenie výplňových prútov z roviny hlavného nosníka a je možné voliť tuhý rámový uzol. Pripojenie v rovine býva realizované pomocou trecích spojov alebo zvarov, kedy obidva prípoje vykazujú vysokú tuhosť a model rámového uzla je v tomto prípade optimálnym typom spojenia. [1]

Poloha mostovky sa dá modelovať s reálnou excentricitou jej napojenia na pás hlavného nosníka. Rovnako je možné zohľadniť reálnu polohu pripojení pozdĺžnych stužení na pásy hlavného nosníka.



obr. 6-1 Priestorový prútový model a jeho vizualizácia

Výhodou priestorového modelu a zároveň aj jeho úlohou je vystihnúť spolupôsobenie všetkých prvkov nosnej konštrukcie, v tomto prípade prútov.

Nevýhodou je komplikované exaktné stanovenie najúčinnejšej odozvy jednotlivých posudzovaných prvkov na zaťaženie. Postup takisto sťažuje doterajšie poňatie náhrady dynamickej analýzy statickou analýzou s aplikáciou dynamického súčiniteľa, vystihujúceho dynamické správanie prvkov. Dynamický súčiniteľ má odlišné hodnoty pre mostovkové prvky a prúty hlavného nosníka. [1] Konzervatívnou voľbou bude vybrať **najväčšiu hodnotu dynamického súčiniteľa** pre rozdielne prvky a tú použiť pre priestorový model.

6.1 TVORBA MODELU

Prvý krok k tvorbe modelu je získanie všetkých potrebných informácií o danej konštrukcii, dispozícia, geometria, skladba prútov, detaily spojov, detaily uloženia, materiál konštrukcie atď.

Vybrať vhodný software na tvorbu modelu, v našom prípade bol vybraný statický software Scia Engineer.

6.1.1 Geometria modelu

Najjednoduchšou cestou k správne vykresleniu konštrukcie je tvorba drátového modelu v programe AutoCAD a jeho následný import do programu Scia Engineer.

6.1.2 Skladba prútov

Získané prierezy prútov z kap. 4.3 vykreslené v soft. AutoCAD importujeme do programu Scia Engineer. Takmer každý prút má osobitný prierez a pre vystihnúť skutočného spolupôsobenia konštrukcie je tento krok veľmi dôležitý. V našom modeli sa líšia pásy hlavných nosníkov kvôli zakriveniu trate. Profily prútov sú v prílohe č. 2 a vo výkresovej dokumentácii č. 5,6.

6.1.3 Tuhosť spojov

Model s čistými kĺbmi, ktoré neprenášajú ohybové momenty, dostane do prútov najväčšie osovú silu, ale má značne zníženú stabilitu ako lokálnu tak globálnu. Výpočet podľa tohto modelu by bol až príliš konzervatívny a výsledky by neodpovedali skutočnosti.

Model s tuhými rámovými spojmi zase znižuje veľkosť osových síl v prvkoch, ktorých časť preberá nekonečne tuhý prípoj, avšak takto tuhý prípoj taktiež nie je bežne konštrukčne uskutočniteľný.

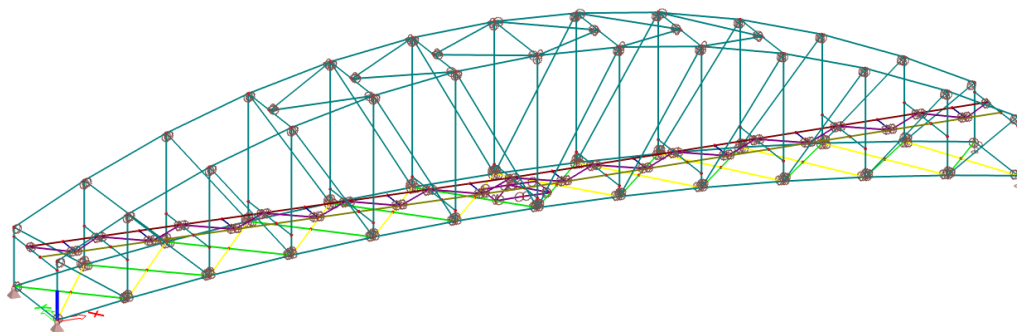
Po odbornej konzultácii bola tuhosť spojov stanovená takto:

Horný a dolný pás je spojený tuhými spojmi.

Výplňové prúty majú polotuhé kĺby o tuhosti v rovine 0,024 MNm/rad a z roviny nosníku 0,24 MNm/rad ich rotačná tuhosť bola stanovená na 0,24 MNm/rad.

Priečniky, pozdĺžniky a horné stužidlo s nábehom majú tuhé rámové pripojenie.

Ostatné stužidlové prúty majú obdobnú tuhosť ako výplňové prúty.



obr. 6-2 Schéma tuhosti prípojení

6.1.4 Modelovanie koľajového zvršku

Pre exaktné umiestnenie zaťaženia a vystihnúť pôsobenia na konštrukciu v oblúku boli vymodelované mostnice a koľaje.

Mostnice majú rozmery 240 x 260 mm, ich osová vzdialenosť je 580 mm, materiál je dubové drevo s pevnosťou v ohybe kolmo na vlákna 50 MPa a hustotou 620 kg/m³. Počet kusov je 104.

Koľajnice sú typu R 65 s hmotnosťou 65 kg/m

Jedno z úskalí modelu bolo zabrániť spolupôsobeniu koľají pri priehybe konštrukcie mosta. To sa dosiahlo tým, že mostnice neboli súčasťou roštu z priečnikov a pozdĺžnikov, ale ich excentrické napojenie na pozdĺžniky bolo prevedené pomocou tuhých ramien, veľmi štíhlych prvkov s nulovou hmotnosťou a vysokým modulom pružnosti $E = 2,1 \times 10^7$, ktoré zabezpečili prenos vnútorných síl od zaťaženia.

Ďalším dôležitým aspektom bolo zohľadniť deformácie a vôľu v uložení koľají na mostniciach a zároveň vylúčiť ich spolupôsobenie z tlačenej časti hlavného nosníka. Riešením bolo zadanie polotuhých uzlov v spoji medzi mostnicami a tuhým ramenom, a možnosť preklázať spoju ak by mal preniesť veľké vnútorné sily, čo by nebolo žiadúce. Tuhosť bola vypočítaná zo sumy brzdných síl a teoretickej dovolenej deformácie v jednom spoji a stanovená zo vzťahu (21.) na hodnotu $k = 4 \text{ MN/m}$.

$$k = \frac{F}{\Delta l} \quad (21.)$$

6.2 ZAŤAŽENIE A JEHO KOMBINÁCIE

6.2.1 Dopravné zaťaženie

Pre vystihnutie charakteru pohyblivého zaťaženia je nutné všetky vytvorené kombinácie dopravného zaťaženia umiestniť zjednodušene do každého uzla spojenia priehradového nosníka a priečniku tak, aby vyvodilo maximálne vnútorné sily. Podobne ako pri ručnom výpočte v kap. 5.5.3.

V kap. 5.2 a 5.3 boli vypočítané hodnoty pre všetky typy dopravného aj nedopravného zaťaženia. Zmena oproti klasickému zaťaženiu je tá, že zaťaženie od dopravy je viaczožkové a zahŕňa zaťaženie od modelu 71, rozjazdové a brzdné sily, odstredivé sily a bočné rázy.

Súčasnú zaťaženie železničnou dopravou sa môže uvažovať ako skupinovú zaťaženie definované v Tabuľka 6-1. Každá z týchto skupín zaťažení, vzájomne sa vylučujúcich, predstavuje jedno charakteristické premenné zaťaženie pre kombináciu s nedopravnými zaťažzeniami. Každá zaťažovacia skupina sa má považovať za jedno premenné zaťaženie.

Tabuľka 6-1 Skupiny zaťaženia žel. dopravou podľa [6]

Počet koľají			Zaťažovacie skupiny			Zvislé zaťaženie			Vodorovné zaťaženie			Poznámka
1	2	≥ 3	Podľa STN EN 1991-2			6.3.2/6.3.3	6.3.3	6.3.4	6.5.3	6.5.1	6.5.2	
			počet zať. koľají	Zať. skupiny ⁽⁸⁾	Zaťažená koľaj	LM 71 ⁽¹⁾ SW/O ^{(1), (2)} HSLM ^{(6), (7)}	SW/2 ^{(1), (3)}	Prázdné vozne	Rozjazd Brzdenie ⁽¹⁾	Odstredivá sila ⁽¹⁾	Bočné nárazy ⁽¹⁾	
			1	gr11	T ₁	1			1 ⁽⁵⁾	0,5 ⁽⁵⁾	0,5 ⁽⁵⁾	Max. zvislé s max. vodorovným
			1	gr12	T ₁	1			0,5 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁵⁾	Max. zvislé s max. priečnym
			1	gr13	T ₁	1 ⁽⁴⁾			1	0,5 ⁽⁵⁾	0,5 ⁽⁵⁾	Max. pozdĺžne
			1	gr14	T ₁	1 ⁽⁴⁾			0,5 ⁽⁵⁾	1	1	Max. priečne
			1	gr15	T ₁			1		1 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁵⁾	Stabilita v prieč. smere pre "prázdné vozne"
			1	gr16	T ₁		1		1 ⁽⁵⁾	0,5 ⁽⁵⁾	0,5 ⁽⁵⁾	SW/2 s max. pozdĺžnym
			1	gr17	T ₁		1		0,5 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁵⁾	SW/2 s max. priečnym

6.2.2 Nedopravné zaťaženie

Zahŕňa všetky ostatné vplyvy na konštrukciu, zaťaženie vetrom, snehom, teplotou, seizmicitou. Vzhľadom na umiestnenie mosta a jeho konštrukčné riešenie budeme uvažovať iba zaťaženie vetrom.

6.2.3 Kombinácie zaťaženia

Na vytvorenie kombinácií využijeme vzorec pre EN-MSÚ (STR/GEO) Soúbor B so špecifikáciou pre zaťaženie železničnou dopravou. Zmení sa súčiniteľ pre náhodilé dopravné zaťaženie na hodnotu 1,45. Lineárnym rozkladom dostaneme okolo 350 zmysluplných kombinácií.

Dodatočne vytvoríme kombinácie pre prázdny vlak v spojení s priečnym vetrom.

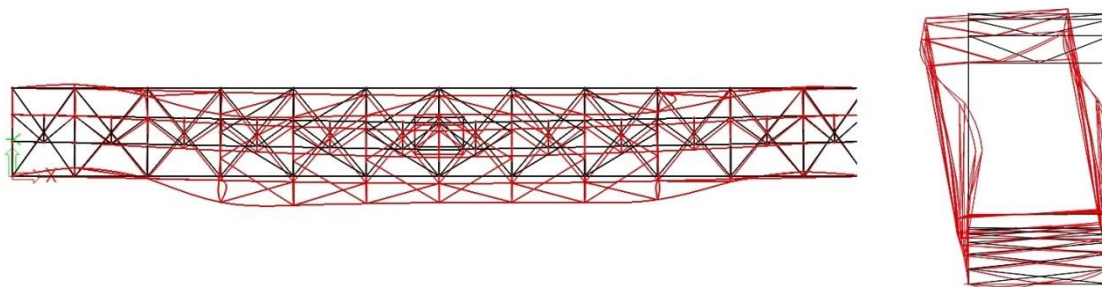
Dôležité je, že pokiaľ by nejaký z účinkov vedľajšieho náhodilého zaťaženia odľahčoval konštrukciu, vzhľadom na dominantné náhodilé zaťaženie ho nebudeme uvažovať.

6.3 VÝPOČET PRIESTOROVÉHO MODELU

6.3.1 Lineárny výpočet

Lineárny výpočet teórie I. rádu počíta vnútorné sily a následne deformácie na pôvodnej geometrii konštrukcie a v rámci platnosti Hookova zákona pružného chovania materiálu. S použitím LBA, čo je lineárna pružnostná stabilitná analýza, zistíme prvý vlastný tvar stability tlačeneho pásu a s ním súvisiace hodnoty kritickej sily. [1] Hodnota α_{cr} ktorá je výsledkom LBA je násobkom maximálnej hodnoty zaťaženia, pri ktorej konštrukcia stratí svoju stabilitu a skolabuje. Pokiaľ bude tento tzv. prvý vlastný tvar globálnej stability konštrukcie α_{cr} väčší ako 10 norma nám povoľuje prehlásiť konštrukciu za stabilnú bez nutnosti nelineárneho výpočtu.

Výsledkom tohto výpočtu je prvý vlastný tvar s hodnotou $\alpha_{cr} = 7,04$ čo znamená že model musíme podrobiť nelineárnemu výpočtu



obr. 6-3 Prvý vlastný tvar vybočenia $\alpha_{cr} = 7,04$

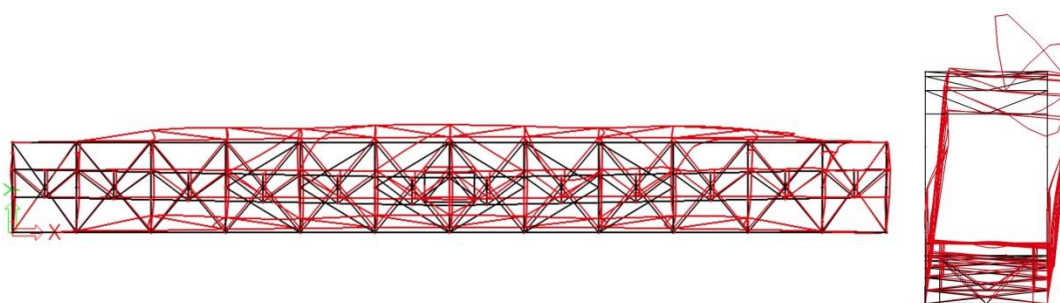
6.3.2 Nelineárny výpočet

GNIA je geometricky nelineárna pružnostná analýza s imperfekciami. Tento spôsob analýzy predstavuje súčasný vrchol numerických prístupov k riešenej problematike. [1] Aplikuje teóriu II. rádu, čo znamená, že zaťaženie rozdelí na určitý počet prírastkov a postupne deformuje konštrukciu a pridáva zaťaženie.

Zahrňuje vplyv imperfekcií a to pre náš konkrétny prípad lokálne každý prút je zdeformovaný o $l/200$ čo zohľadní konštrukčné a geometrické nelinearity a globálna imperfekcia, ktorá je zavedená ako deformácia v tvare prvého vlastného tvaru z LBA.

Na riešenie bola využitá iteračná metóda modifikovaný Newton-Raphson.

Výsledkom je opäť kritický násobok zaťaženia, pri ktorom konštrukcia skolabuje. Rozdiel týchto hodnôt by nemal byť moc veľký. Pretože deformácie v konštrukcii sú veľmi malé a tak metóda II. rádu neodlíši značne tieto výsledky. Prvý vlastný tvar straty globálnej stability pre nelineárny výpočet je $\alpha_{cr} = 6,72$. Tvar vybočenia je obdobný vid'. (obr. 6-4) a konštrukcia stabilítne **vyhovuje**.



obr. 6-4 Prvý vlastný tvar pre výpočet $\alpha_{cr} = 6,72$.

6.4 POSUDOK PRVKOV NA VNÚTORNÉ SILY ZÍSKANE GLOBÁLNOU ANALÝZOU

Jedná sa o podobný posudok ako pri ručnom výpočte. Zmena nastane však vo veľkosti vnútorných síl. Vzhľadom na lepšie vystihnúť spolupôsobenia bude využitie prvkov konštrukcie odlišné. Zaťaženie na konštrukciu pri globálnej analýze je väčšie, pretože zahŕňa všetky kombinácie zaťažovacích stavov podľa ČSN EN.

Plná verzia tabuľky je dostupná v prílohe č. 6

Tabuľka 6-2 Posudok prutov na tlak

Názov	rovina	N_{ed} [kN]	dĺžka [mm]	L_{cr} kritická dĺžka [mm]	I [mm ⁴]	i [mm]	A [mm ²]	λ	$N_{ed}/N_{b,Rd}$
V0	y	4857.32	3430	3430	9.59E-04	121	6.53E-02	28.31	0.34
	z	4857.32	3430	3430	2.97E-03	213	6.53E-02	16.08	0.32
V1	y	2881.16	4898	4898	7.26E-05	63	1.84E-02	78.02	1.05
	z	2881.16	4898	4898	4.84E-04	162	1.84E-02	30.22	0.72
V2	y	1862.12	6318	6318	7.26E-05	63	1.84E-02	100.64	0.87
	z	1862.12	6318	6318	4.84E-04	162	1.84E-02	38.98	0.49
V3	y	1175.94	7423	7423	7.26E-05	63	1.84E-02	118.25	0.67
	z	1175.94	7423	7423	4.84E-04	162	1.84E-02	45.80	0.33
H1	y	4323.43	4697	4697	6.38E-04	150	2.85E-02	31.41	0.46
	z	4323.43	15151	15151	1.47E-03	227	2.85E-02	66.73	0.59
H2	y	6393.45	5305	5305	7.94E-04	146	3.71E-02	36.26	0.54
	z	6393.45	15151	15151	1.78E-03	219	3.71E-02	69.13	0.69
H3	y	7330.86	5149	5149	9.15E-04	141	4.57E-02	36.39	0.50
	z	7330.86	15151	15151	2.09E-03	214	4.57E-02	70.78	0.65
H4	y	7778.51	5029	5029	9.15E-04	141	4.57E-02	35.54	0.53
	z	7778.51	5029	5029	2.09E-03	214	4.57E-02	23.49	0.49
H5	y	7860.78	4947	4947	9.15E-04	141	4.57E-02	34.96	0.53
	z	7860.78	4947	4947	2.09E-03	214	4.57E-02	23.11	0.50
H6	y	7820.49	4905	4905	9.15E-04	141	4.57E-02	34.67	0.53
	z	7820.49	4905	4905	2.09E-03	214	4.57E-02	22.91	0.49

Tabuľka 6-3 Posudok stuženia na tlak

Názov	rovina	N_{ed} [kN]	dĺžka [mm]	L_{cr} kritická dĺžka [mm]	i [mm ⁴]	i [mm]	A [mm ²]	λ	$N_{ed}/N_{b,Rd}$
horné stuženie	y	200.75	5830	5830	4.68E-06	44	2.43E-03	132.50	1.02
	z	200.75	5830	5830	2.35E-06	31	2.43E-03	188.06	1.80
dolné stuženie	y	1266.12	3847	3847	1.95E-05	46	9.11E-03	83.63	0.99
	z	1266.12	3847	3847	1.60E-05	42	9.11E-03	91.60	1.08

Tabuľka 6-4 Posudok prúťov na ťah

Názov	N _{ed} [kN]	L [mm]	A[m ²]	f _{yd} [MPa]	I [mm]	λ	N _{b,Rd} [kN]	N _{ed} / N _{b,Rd}
S1	2415.87	4248	1.99E-02	230	119	35.70	4587.1	0.53
S2	4554.65	4938	2.89E-02	230	115	42.94	6657.1	0.68
S3	6639.45	4923	4.69E-02	230	107	46.01	10797.1	0.61
S4	7681.83	4912	5.59E-02	230	104	47.23	12867.1	0.60
S5	8325.60	4904	5.59E-02	230	104	47.15	12867.1	0.65
S5	8684.94	4900	5.59E-02	230	104	47.12	12867.1	0.67
D1	4387.31	5045	2.82E-02	230	108	46.71	6495.2	0.68
D2	2765.73	6509	2.18E-02	230	83	78.42	5021.4	0.55
D3	1739.30	7624	2.18E-02	230	54	141.19	5021.4	0.35
D4	1188.08	8612	1.23E-02	230	49	175.76	2832.7	0.42
D5	792.57	8612	1.24E-02	230	52	165.62	2852.0	0.28
D6	425.17	9912	1.24E-02	230	55	180.22	2852.0	0.15
V4	732.10	8211	1.84E-02	230	162	50.66	4235.7	0.17
V5	396.87	8684	1.84E-02	230	162	53.58	4235.7	0.09
V6	393.03	8842	1.84E-02	230	162	54.55	4235.7	0.09

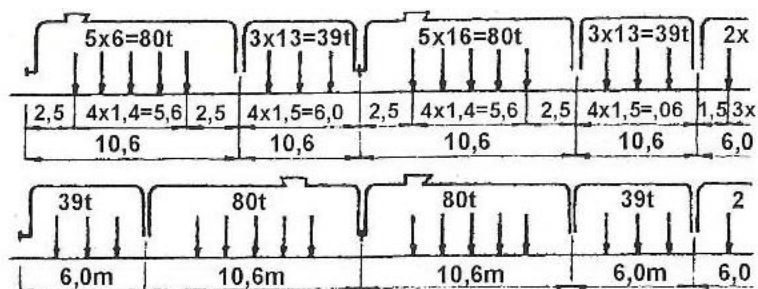
Tabuľka 6-5 Posudok stuženia na ťah

Názov	N _{ed} [kN]	L [mm]	A[m ²]	f _{yd} [MPa]	i [mm]	λ	N _{b,Rd} [kN]	N _{ed} / N _{b,Rd}
HS	200.38	5830	2.43E-03	230	44	132.50	559.4	0.36
DS	1591.49	3847	9.11E-03	230	42	91.60	2095.2	0.76

6.5 ZHRNUTIE VÝPOČTU

Za predpokladu, že model pracuje správne tak prvky ktorých jednotkový posudok je väčší ako 1, skutočne **nevyhovujú** požiadavkám ČSN EN a je potrebná ich výmena alebo spevnenie. Je to spôsobené viacerými faktormi.

Prvý je ten, že sa zmenili požiadavky na konštrukcie, ktoré sú prísnejšie. Napr. takto vyzeral zaťažovací model pre vlak, na ktorý boli navrhované mosty v roku 1939.



obr. 6-5 Zaťažovací vlak podľa ČSN 1230 z roku 1937 [3]

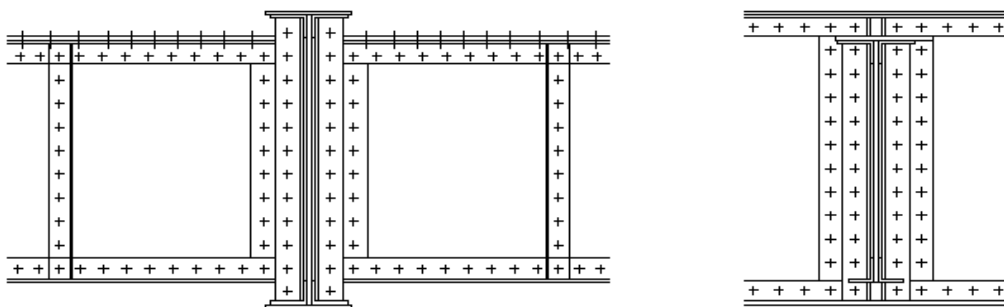
Druhý je ten, že odporúčené štihlosti pre prvky sú menšie ako v minulosti. Dnes sa uvažuje limitná štihlosť $\lambda \leq 200$ pre prvky namáhané na ťah a $\lambda \leq 100$ pre tlačené prvky. V minulosti boli odporúčané väčšie hodnoty vid'.

Tabuľka 6-6 povolené štihlosti [1]

	Pruty tlačené	Pruty ťažené
Hlavní nosné části konstrukce	130	250
Podružné nosné části konstrukce	180	300

7 POSÚDENIE VYBRANÝCH SPOJOV

Pre posudok bol vybraný prípoj pozdĺžnika na priečnik. Tento spoj zobrazený na ' (obr. 7-1) je variant, ktorý sa už nepoužíva pretože nemá dostatočnú únavovú odolnosť. V spoji sú prítomné všetky zložky vnútorných síl, ich veľkosti boli získané z nelineárneho výpočtu.



obr. 7-1 Prípoj pozdĺžnika na priečnika

Materiál profilov budeme uvažovať ocel' s označením C37, ktorej medza klzu je stanovená na 230 MPa a medza únosnosti 360 MPa. Pre nity uvažujeme ocel' C44 s medzou únosnosti stanovenú na 510 MPa.

f_y 230 MPa

f_u 360 MPa

Hodnoty vnútorných síl

M_{ed} 289.7 kNm

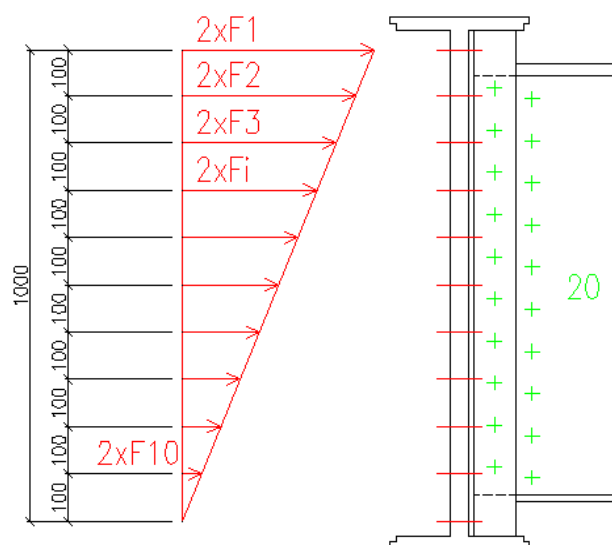
V_{ed} 627.5 kN

N_{ed} 1130.1 kN

Výpočet namáhania nitov od ohybového momentu.

$$M_{Ed} = 2 * \left(\frac{r_{10} * F_1}{r_1} * r_{10} + \frac{r_9 * F_1}{r_1} * r_9 + \frac{r_8 * F_1}{r_1} * r_8 + \frac{r_7 * F_1}{r_1} * r_7 + \frac{r_6 * F_1}{r_1} * r_6 + \frac{r_5 * F_1}{r_1} * r_5 + \frac{r_{10-i} * F_1}{r_1} * r_{10-i} + \dots + F_1 * r_1 \right) \quad (22.)$$

F_1	37.62 kN
F_2	30.47 kN
F_3	24.08 kN
F_4	18.44 kN
F_5	13.54 kN
F_6	9.41 kN
F_7	6.02 kN
F_8	3.39 kN
F_9	1.50 kN
F_{10}	0.38 kN



7.1 PRIEČNIK

7.1.1 Posudok nitov na ťah

Sila v jednom nite od účinku momentu

$N_{M,Ed}$ 37.62 kN konzervatívne

Normálová sila od vod. síl v pozdĺžniku

N_{Ed} 1130.1 kN

$N_{celk,Ed}$ 1506.33 kN

Únosnosť jedného nitu v ťahu podľa [10].

$$F_{t,Rd} = \frac{0,6 * f_{ur} * A_0}{\gamma_{M2}} \quad (23.)$$

A_0	314.159 mm ²		
f_{ur}	510 MPa	C44	$F_{t,Rd} = \frac{0,6 * 510 * 314,16}{1,25} = 76,9$
γ_{M2}	1.25		

$F_{t,Rd}$	76.9062 kN
------------	------------

počet

n	22 ks
---	-------

Sila na jeden spojovací prostriedok

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{celk,Ed}}{n} \quad (24.)$$

$F_{t,Ed}$	68.47 kN
------------	----------

Posudok

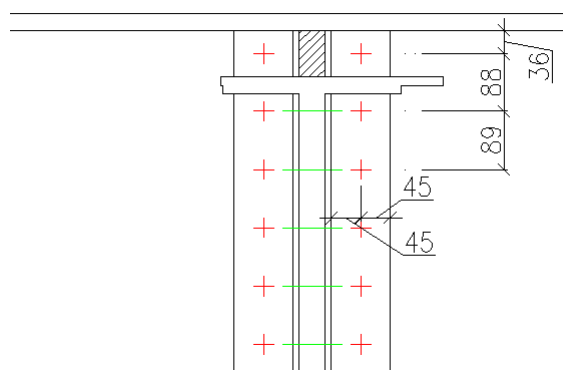
$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$$

68.47	\leq	76.91	VYHOVUJE
-------	--------	-------	-----------------

7.1.2 Posudok spoja na páčenie podľa [10]

f_y	230 MPa
t_f	13 mm
m	45 mm
p	88 mm
e1	36 mm
e	45 mm
n	22 ks

počet spoj. prvkov

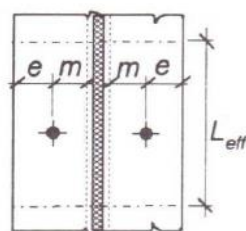


kruhové porušenie

$$\text{menšie z: } \pi * m + p = 229.3 \text{ mm}$$

$$2 * e_1 + p = 160 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,cp}} = 160 \text{ mm}$$



nekruhové porušenie

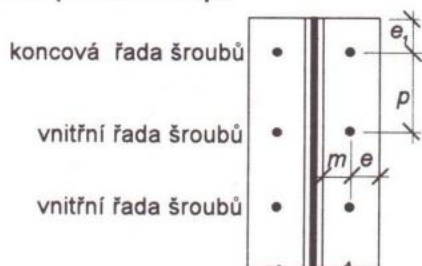
menšie z

$$2 * m + 0,625 * e + 0,5 * p = 162.1 \text{ mm}$$

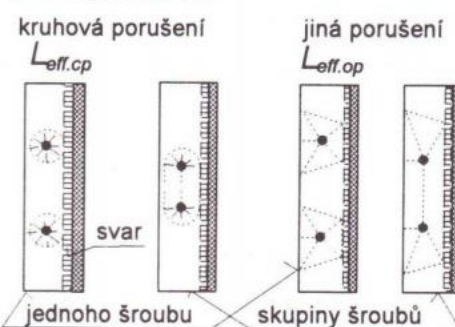
$$e_1 + 0,5 * p = 80 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff,nc}} = 80 \text{ mm}$$

nevystužená pásnice sloupu



příklady porušení



obr. 7-2 Příklady porušení podle [10]

Tabulka 7-1 Účinné délky pro nevystuženou pásnicu [10]

Poloha řady šroubů	Řada šroubů uvažovaná samostatně		Řada šroubů uvažovaná jako součást skupiny řad šroubů	
	Kruhové porušení $l_{\text{eff,cp}}$	Nekruhové porušení $l_{\text{eff,nc}}$	Kruhové porušení $l_{\text{eff,cp}}$	Nekruhové porušení $l_{\text{eff,nc}}$
Vnitřní řada šroubů	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Koncová řada šroubů	menší z: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	menší z: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	menší z: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	menší z: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
1. způsob	$l_{\text{eff,1}} = l_{\text{eff,nc}}$ ale $l_{\text{eff,1}} \leq l_{\text{eff,cp}}$		$\Sigma l_{\text{eff,1}} = \Sigma l_{\text{eff,nc}}$ ale $\Sigma l_{\text{eff,1}} \leq \Sigma l_{\text{eff,cp}}$	
2. způsob	$l_{\text{eff,2}} = l_{\text{eff,nc}}$		$\Sigma l_{\text{eff,2}} = \Sigma l_{\text{eff,nc}}$	

7.1.3 1. mód poručenía, únosnosť náhradného T-profilu v ťahu

$$l_{eff,1} = 80 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{eff,1} = 880 \text{ mm}$$



$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} * \frac{\Sigma l_{eff,1} * t_f^2 * f_y}{\gamma_{M0}} \quad (25.)$$

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m} \quad (26.)$$

$$M_{pl,1,Rd} = 8.5514 \text{ kNm}$$

$$F_{T,1,Rd} = 760.124 \text{ kN}$$

Posudok

$$N_{celk,Ed} \leq F_{T,1,Rd}$$

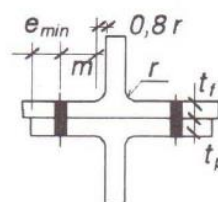
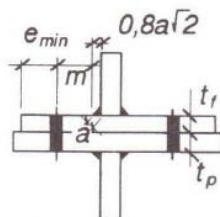
$$1506.33 \leq 760.124 \quad \text{NEVYHOVUJE}$$

7.1.4 2. mód porušenía, únosnosť náhradného T-profilu a spojovacích prostriedkov

$$l_{eff,2} = 80$$

$$\Sigma l_{eff,1} = 880 \text{ mm}$$

$$n = e_{min} = 36 \text{ mm} < 1.25 * m$$



$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} * \frac{\sum l_{eff,2} * t_f^2 * f_y}{\gamma_{M0}} \quad (27.)$$

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m + n} \quad (28.)$$

$$M_{pl,2,Rd} \quad 8.5514 \text{ kNm}$$

$$F_{T,2,Rd} \quad 963.117 \text{ kNm}$$

Posudok

$$N_{celk,Ed} \leq F_{T,2,Rd}$$

$$1506.33 \leq 963.117 \quad \text{NEVYHOVUJE}$$

7.1.5 3. mód porušenia, únosnosť spojovacích prostriedkov

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$$F_{T,3,Rd} \quad 76.9062 \text{ kN}$$



Posudok

$$N_{celk,Ed} \leq F_{T,3,Rd}$$

$$1506.33 \leq 1691.94 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Únosnosť na pretlačenie hlavy

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 * \pi * d_m * t_p * f_u}{\gamma_{M2}} \quad (29.)$$

Pri nitoch nie je potrebné posudzovať podľa [10].

7.1.6 Posudok spoja na strih, jednostrážne

V_{Ed}	627.5 kN
A_0	314.16 mm ²
f_{ur}	510 MPa
γ_{M2}	1.25

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 * f_{ur} * A_0}{\gamma_{M2}}$$

únosnosť jedného nitu

$$F_{v,Rd} = 76.9062 \text{ kN}$$

počet n 22 ks

Sila na jeden spojovací prostriedok

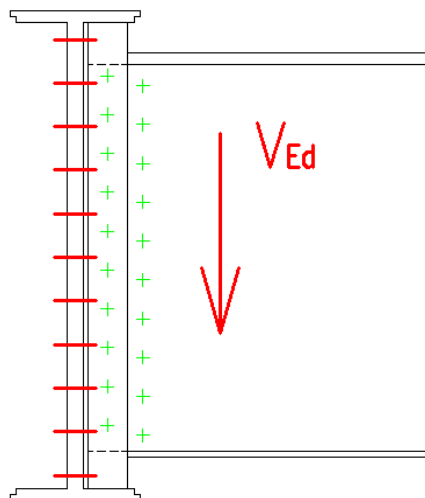
$$F_{v,Ed} = \frac{V_{celk,Ed}}{n} = 28.52 \text{ kN}$$

Posudok

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$28.52 \leq 76.91$$

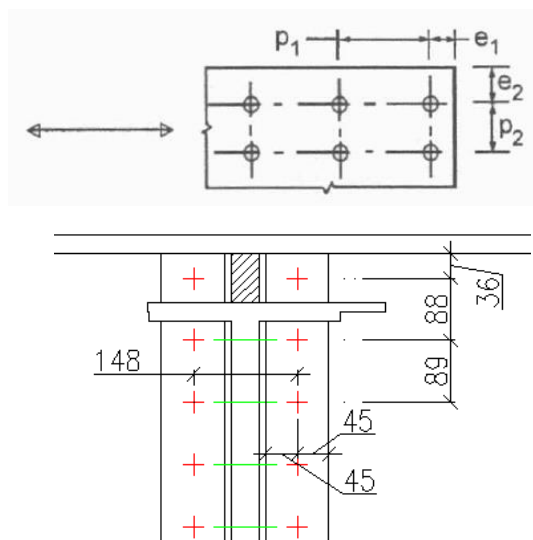
VYHOVUJE



7.1.7 Posudok spoja na otláčenje

Otláčenje budeme posudzovať na najtenšom plechu, ktorý je spájaný a to je L-profil o hrúbke 10 mm.

n	22 ks	
t	10 mm	L10 100/100
e ₂	45 mm	
e ₁	36 mm	
p ₁	88 mm	
d=d ₀	20 mm	



$$\alpha_b = \min \left(1, 0; \frac{f_{ub}}{f_u}; \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{p_1}{3 * d_0} - 0,25 \right) \quad (30.)$$

$$k_1 = \min \left(2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right) \quad (31.)$$

k₁ 2.5

α_b 0.6

Únosnosť v otláčení jedného prvku

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} \quad (32.)$$

F_{b,Rd} 86.4 kN

Sila na jeden spojovací prostriedok

$$F_{b,Ed} = \frac{V_{celk,Ed}}{n} = 28.52 \text{ kN}$$

Posudok

$$F_{b,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$28.52 \leq 86.4 \quad \text{VYHOVUJE}$$

7.1.8 Posudok spoja na kombináciu strihu a ťahu

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (33.)$$

$$\frac{29.69}{76.91} + \frac{47.96}{1,4 * 76.91} \leq 1,0$$

$$1.0 \leq 1.0 \quad \text{VYHOVUJE}$$

7.2 POZDĽŽNIK

7.2.1 Posudok spoja na strih, dvojstrižne

Spojovacie prvky sú namáhané zvisle posúvajúcou silou, vodorovne od excentricity prípoja, ekvivalentnej sily od momentu a posúvajúcej sily.

$$A_0 = 314.159 \text{ mm}^2$$

$$f_{ur} = 510 \text{ MPa}$$

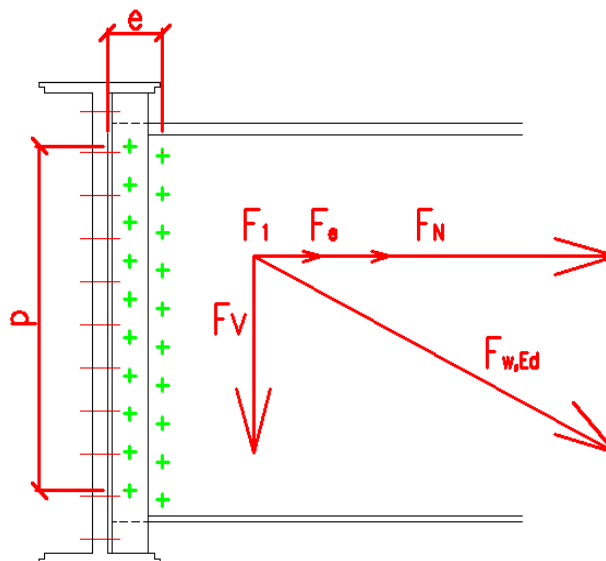
$$\gamma_{M2} = 1.25$$

$$F_{v,Rd} = 2 * \frac{0,6 * f_{ur} * A_0}{\gamma_{M2}}$$

únosnosť jedného nitu

$$F_{t,Rd} = 153.812 \text{ kN}$$

$$\text{počet } n = 20 \text{ ks}$$



Ned 1013.42 kN

V_{Ed} 627.5 kN

Sila od momentu v spoji

F_1 37.62 kN

Prídavný moment od excentricity

e 136 mm excentricita

p 801 mm rameno

$$M_{e,Ed} = V_{Ed} * e = 85.34 \text{ kNm}$$

$$F_{e,Ed} = \frac{M_{e,Ed}}{p} = 106.54 \text{ kN}$$

$$F_e = \frac{F_{e,Ed}}{n} = 5.33 \text{ kN}$$

Sila od normálovej sily

$$F_N = \frac{N_{Ed}}{n} = 50.67 \text{ kN} \quad \text{bezpečne bez brzdn. stužidla}$$

Sila od posúvajúcej sily

$$F_V = \frac{V_{Ed}}{n} = 31.38 \text{ kN}$$

Výslednica síl na jeden spojovací prvok

$$F_{w,Ed} = \sqrt{F_v^2 + (F_1 + F_N + F_e)^2} = 98.74 \text{ kN}$$

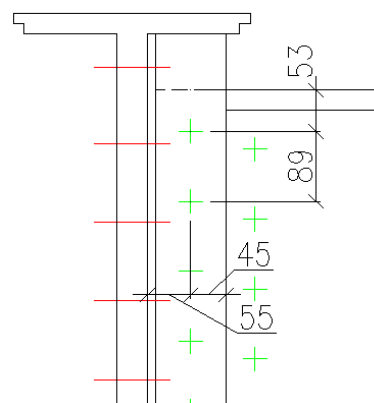
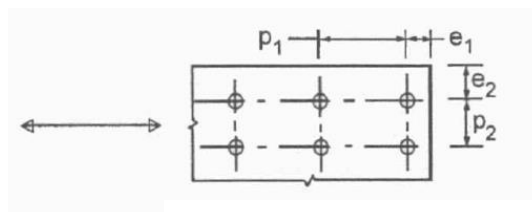
Posudok pre jeden spojovací prvok

$$F_{w,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$98.74 \leq 153.812 \quad \text{VYHOVUJE}$$

7.2.2 Posudok spoja na otláčenje

n	20 ks	
t	13 mm	stojna
e ₂	45 mm	
e ₁	53 mm	
p ₁	89 mm	
d=d ₀	20 mm	



$$k_1 = \min\left(2,5; 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(1,0; \frac{f_{ub}}{f_u}; \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{p_1}{3 * d_0} - 0,25\right) = 0,88$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = 0,88333$$

únosnosť v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = 165,36 \text{ kN}$$

Posudok pre jeden spojovací prvok

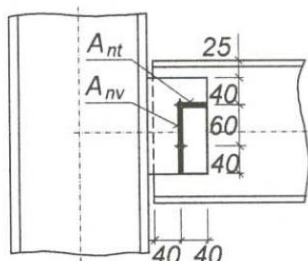
$$F_{w,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$98,74 \leq 165,36$$

VYHOVUJE

7.2.3 Posudok dosky na šmyk, pre vytrhnutie skupiny spojovacích prostriedkov

Únosnosť dosky v šmyku je daná únosnosťou kritického rezu v ťahu a šmyku.



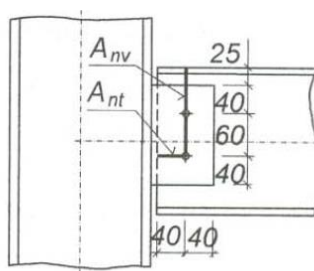
obr. 7-3 Schéma pre posudok dosky na šmyk [10]

$$V_{Rd} = \frac{0,5 * A_{nt} * f_u}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M2}} \quad (34.)$$

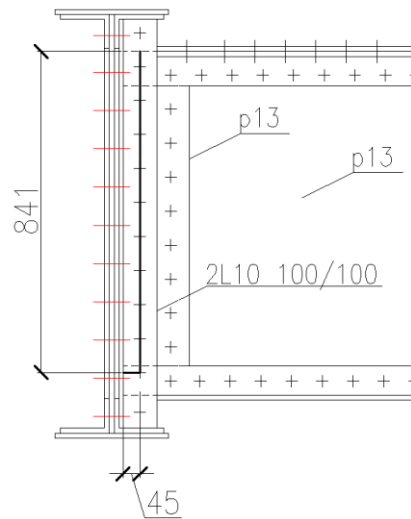
Neposudzujeme pretože uholník je po celej výške prierezu priečnika a nemôže dôjsť k tomuto módu porušenia.

Únosnosť kritického prierezu stojny na šmyk.

γ_{M2}	1.25
f_u	510
f_y	355
h	841 mm
\bar{s}	45 mm



t_l	13 mm
n_h	10 ks
n_s	1 ks
d_0	20 mm
A_{nv}	8333 mm ²
A_{nt}	325 mm ²



V_{Rd}	1432.64 kN
V_{Ed}	627.5

Posudok

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$$627.50 \leq 1432.64$$

VYHOVUJE

7.3 ZHRNUTIE POSUDKU

Názov porušenia	Zaťaženie Odolnosť Posudok	
	[kN]	[kN]
1. Posúdenie nitov na ťah, prípoj na Priečnik	68.5	76.9 Vyhovuje
2. Posudok spoja na páčenie podľa ČSN EN 1993-1-8		
2.1 únosnosť náhradného T-profilu pásnice v ťahu	1506.3	760.1 Nevyhovuje
2.2 únosnosť náhradného T-profilu a spojovacích prostriedkov	1506.3	963.1 Nevyhovuje
2.3 únosnosť spojovacieho prostriedku	1506.3	1691.9 Vyhovuje
3. Posudok spoja na strih, jednostrizne - Priečnik	28.5	76.9 Vyhovuje
4. Posudok spoja na otláčenie, Priečnik	28.5	86.4 Vyhovuje
5. Posudok spoja na kombináciu strihu a ťahu, Priečnik	1.0	1.0 Vyhovuje
6. Posudok spoja na strih, dvojstrizne - Pozdĺžnik	98.7	153.8 Vyhovuje
7. Posudok spoja na otláčenie, Pozdĺžnik	98.7	165.4 Vyhovuje
8. Posudok oslabeného prierezu Pozdĺžnika	1130.1	1534.9 Vyhovuje
9. Posudok dosky na šmyk pre vytrhnutie skupiny spoj. prostriedkov	627.5	1432.6 Vyhovuje

Nevyhovuje posudok na páčenie.

Dôležitým aspektom tohto posudku je zistiť či v danom konštrukčnom prevedení spoja naozaj dochádza k páčeniu a zplastizovaniu vybraných častí. Pretože pozdĺžniky sú pripojené priebežne cez stenu priečnika a dochádza k spolupôsobeniu stojny priečnika s prípojnými L-profilmi, nie je úplne jednoznačné ako spoj definovať. Norma nám však dáva povinnosť posúdiť takýto spoj na páčenie.

8 ODPORÚČANIA PRE ZACHOVANIE ŽIVOTNOSTI KONŠTRUKCIE

Pri analýze mostnej konštrukcie sme dospeli k mnohým zisteniam, ktoré teraz zhrnieme a našou snahou bude odporučiť riešenia v rámci rekonštrukcie a obnovy pre predĺženie životnosti konštrukcie.

8.1.1 Aktívna údržba pre predchádzanie korózii

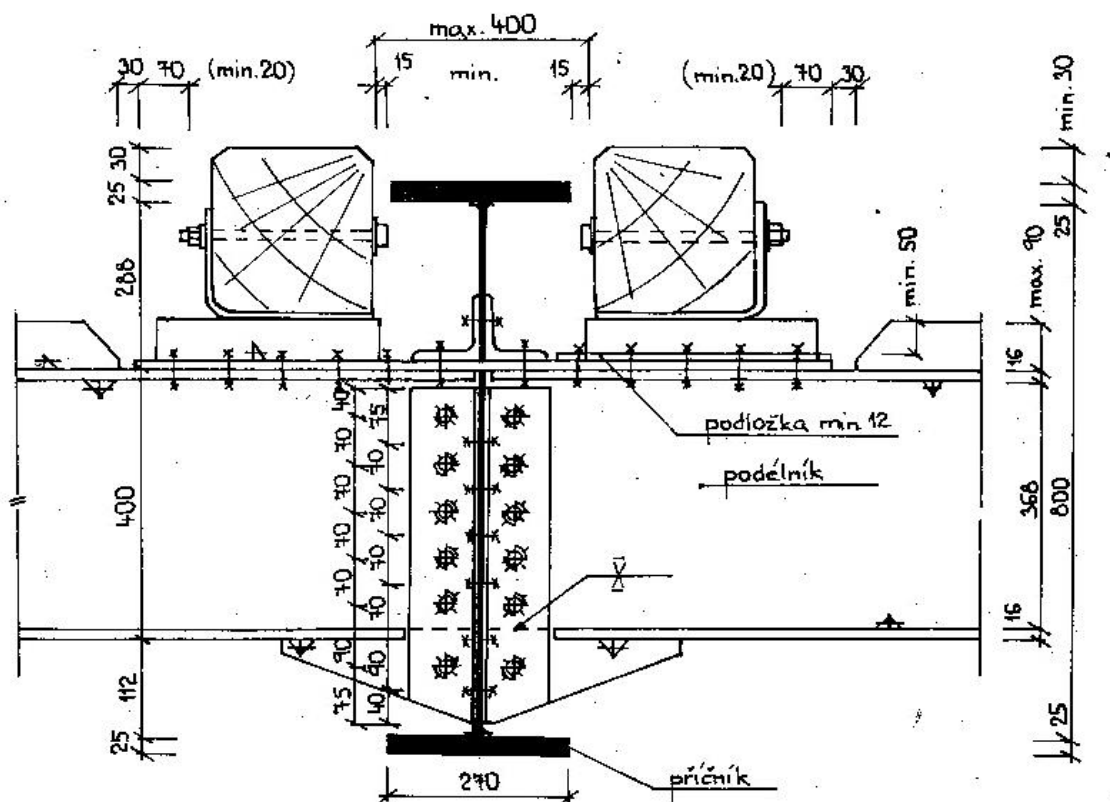
Dôležitá je údržba konštrukcie, aby sa predchádzalo vzniku korózie, pravidelné ochranné nátery, prípadne výmena prvkov. Taktiež kontrola zakrytých častí prvkovej mostovky, ktoré nie sú voľne prístupné.



obr. 8-1 Rozsiahle poškodenie koróziou

8.1.2 Pripojenie pozdĺžnika na priečnik

Nevyhovujúci posudok a konštrukčné prevedenie prípoja pozdĺžnika na priečnik, ktorý nevyhovoval v posudku na páčenie a bol 100% využitý pri namáhaní šmykom za ohybu. Odporúčané prevedenie tohto spoja je na (obr. 8-2 Pripojenie pozdĺžnika na priečnikobr. 8-2). Hlavný rozdiel spočíva v prestrčení pásnice pozdĺžnika cez otvor vyrezaný v priečniku. Tento detail je oveľa vhodnejší na prevedenie spoja, v ktorom je značná momentová sila. Nedochádza tu k páčeniu, pretože pásnica prenesie značnú časť normálovej sily a zabezpečí lepšie spolupôsobenie pozdĺžnikov.



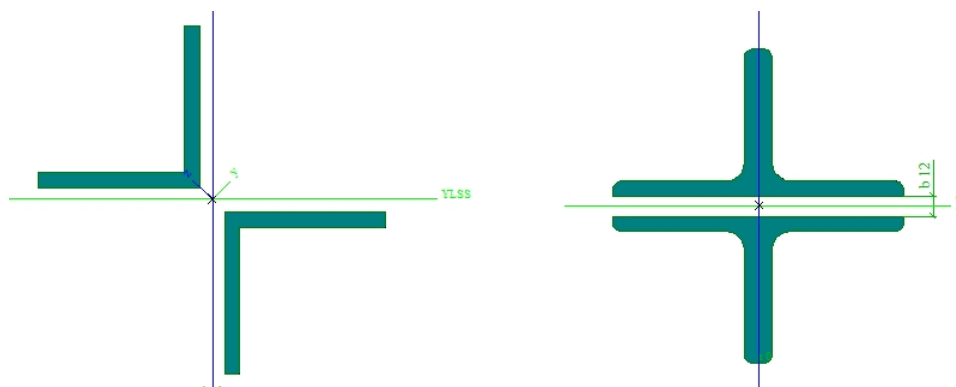
obr. 8-2 Pripojenie pozdĺžnika na priečník

8.1.3 Kontrola únavových detailov

Výpočet ukázal že, v diagonále $D6$ sa značne strieda ťahová a tlaková sila, a preto je odporúčaná jej kontrola na únavu v okolí spojov. Bližšie je táto problematika popísaná v kap. 3.3.3.

8.1.4 Výmena horného stuženia

Prvky skracujúce vzpernú dĺžku horného rámového stužidla sú značne poddimenzované a mali by byť nahradené tuhšími profilmi. Profil je zložený z dvoch uholníkov L 80x80x8 a bol by nahradený štyrmi uholníkmi L 80x80x8.



obr. 8-3 Zmena profilu horného stuženia

9 ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bol celistvý projekt zameraný na železničný most v obci Strečno pri Žiline a jeho samostatné riešenie zo statického hľadiska. S hlavným zameraním na statický výpočet a návrh obnovy a rekonštrukcie mostu.

Pri meraní hrúbky profilov či korózných úbytkov, zvolená metóda nebola efektívna a výsledky nepresné. Vzhľadom na variáciu prierezov a minimálneho počtu meraní jedného prútu na dosiahnutie požadovanej presnosti sme neboli schopný takto určiť rozmery profilov. Po získaní pôvodnej výkresovej dokumentácie už nebolo nutné ich experimentálne zisťovanie.

Bol spravený predbežný ručný výpočet mostu, ktorý sa pri návrhu využíva na odhad základných dimenzií prutov. Na takto získané vnútorné sily bola konštrukcia posúdená a výsledky vyhovujúce.

Úplný statický posudok bol vyhotovený na základe nelineárnej globálnej analýzy z modelu konštrukcie s reálnymi rozmermi a prierezmi. Použité zaťaženie bolo v súlade s aktuálnymi platnými európskymi normami, na ktoré však most nebol dimenzovaný, a preto niektoré jeho prvky nevyhoveli.

Taktiež bol posúdený spoj priečnika a pozdĺžnika ktorý nevyhovel v niektorých ohľadoch. Vzhľadom na nevyhovujúci posudok by bolo bezpredmetné určovať zaťažiteľnosť mosta.

Tento fakt, že konštrukcia nevyhovuje nás moc neprekvapil. Vzhľadom na rok výstavby 1939 a uvedené skutočnosti o stave železničných mostov v kap. 3, je len jeden z 20 % celkového počtu železničných mostov. Preto by sa obnove a rekonštrukcii mala venovať väčšia pozornosť a predísť prípadnej havárii.

Na základne zistených informácií zo statickej analýzy boli vyhotovené návrhy pre výmenu niektorých prvkov konštrukcie a odporúčenia pre zachovanie funkčnosti a dlhšej životnosti mostu.

ZOZNAM OBRÁZKOV

obr. 2-1 Z-GC.....	14
obr. 2-2 VMP	15
obr. 2-3 Priama mostovka	16
obr. 2-4 Prvková mostovka	16
obr. 2-5 Mostovka s koľajovým lôžkom.....	17
obr. 2-6 Zhora zvislicová a bezzvislicová sústava.....	17
obr. 2-7 Typické priečne rezy [1]	18
obr. 2-8 Pevné a pohyblivé ložisko.....	19
obr. 2-9 Schéma nosnej konštrukcie mostu	20
obr. 2-10 Priečniky a pozdĺžniky	21
obr. 2-11 Stuzenie pozdĺžnikov	21
obr. 2-12 Podmostovkové stužidlo	22
obr. 2-13 Nadmostovkové stuženie.....	22
obr. 2-14 Brzdne stužidlo.....	23
obr. 3-1 Typy korózie [3].....	26
obr. 3-2 Štrbinová korózia na diagonále [3]	26
obr. 3-3 Vhodný detail spoja [3]	27
obr. 3-4 Vhodnosť skladby členených prútov [3]	27
obr. 3-5 Skrížené uholníky umožňujúce údržbu [3]	28
obr. 3-6 Nevhodný detail pripojenia [3]	28
obr. 3-7 Nevhodný prípoj priečnika na hlavný nosník [3].....	29
obr. 4-1 Historická fotografia z roku 1945	31
obr. 4-2 Bočný pohľad na most	32
obr. 4-3 Čelný pohľad na most	32
obr. 4-4 Meranie ProsiTector UTG.....	33

obr. 4-5 Profily hl. nosných prvkov, a) horný pás, b) spodný pás, c) zvislica d) diagonála.	34
obr. 4-6 a) priečnik, b) pozdĺžnik.....	34
obr. 5-1 Zaťažovací model 71 [6]	36
obr. 5-2 Schéma zaťaženia od odstredivých síl	37
obr. 5-3 Schéma zaťaženia brzdými/rozjazdovými silami.....	39
obr. 5-4 Schéma pohyblivého zaťaženia.....	43
obr. 5-5 Schéma zaťaženia priečnym vetrom	45
obr. 5-6 Schéma zaťaženia zvislým vetrom.....	48
obr. 5-7 Kritická poloha zaťaženia pre maximálny moment	51
obr. 5-8 Kritická poloha zaťaženia pre maximálnu reakciu.....	51
obr. 5-9 Schéma reakcie vyvodenej od pozdĺžnika na priečnik.....	57
obr. 5-10 Statická schéma priečnika	57
obr. 5-11 Schéma mostu	59
obr. 5-12 Schéma výpočtu priehradového nosníku.....	61
obr. 5-13 Momenty od vlastnej hmotnosti.....	62
obr. 5-14 Poloha zaťaženia pre bod 1,2,3	62
obr. 5-15 Poloha zaťaženia pre bod 4,5,6	63
obr. 5-16 Schéma súčtu momentov.....	63
obr. 5-17 Schéma posúvajúcich síl od vlastnej hmotnosti.....	64
obr. 5-18 Vplyvové čiary pre max. posúvajúcu silu v bode 1	64
obr. 5-19 Vplyvové čiary pre max. posúvajúcu silu v bode 2	65
obr. 5-20 Schéma označenia prvkov priehradového nosníka	66
obr. 5-21 Schéma priehradového nosníka pre výpočet v rovine.....	69
obr. 6-1 Priestorový prútový model a jeho vizualizácia	80
obr. 6-2 Schéma tuhosti prípojov.....	82

obr. 6-3 Prvý vlastný tvar vybočenia $\alpha_{cr} = 7,04$	85
obr. 6-4 Prvý vlastný tvar pre výpočet $\alpha_{cr} = 6,72$	85
obr. 6-5 Zaťažovací vlak podľa ČSN 1230 z roku 1937 [3].....	88
obr. 7-1 Prípoj pozdĺžnika na priečnika.....	89
obr. 7-2Príklady poručenia podľa [10]	92
obr. 7-3 Schéma pre posudok dosky na šmyk [10].....	100
obr. 8-1 Rozsiahle poškodenie koróziou.....	103
obr. 8-2 Pripojenie pozdĺžnika na priečnik.....	104
obr. 8-3 Zmena profilu horného stuženia.....	105

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 5-1Referenčná plocha konštrukcie	45
Tabuľka 5-2 Doporučené hodnoty súčiniteľa pre zaťaženie vetrom C pre mosty.....	46
Tabuľka 5-3 Referenčná plocha pre vietor v kombinácii s vlakom.....	47
Tabuľka 5-4 Odhad hmotnosti na b/m [9]	60
Tabuľka 5-5 Veľkostí ohybových momentov.....	63
Tabuľka 5-6 Výpočet posúvajúcej sily v bode 1	65
Tabuľka 5-7 Porovnanie výsledkov medzi rovným a zakriveným nosníkom	68
Tabuľka 5-8 Porovnania vnútorných síl	69
Tabuľka 5-9 Posudok tlačných prútov	79
Tabuľka 5-10 Posudok ťahaných prútov	79
Tabuľka 6-1 Skupiny zaťaženia žel. dopravou podľa [6]	83
Tabuľka 6-2 Posudok prútov na tlak.....	86
Tabuľka 6-3 Posudok stuženia na tlak.....	86
Tabuľka 6-4 Posudok prútov na ťah	87
Tabuľka 6-5 Posudok stuženia na ťah	87

Tabuľka 6-6 povolené štiňlosti [1].....	88
Tabuľka 7-1 Účinné dĺžky pre nevystuženú pásnicu [10]	92

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] KVOČÁK, Vincent, VIČAN, Josef, a kol., Navrhovanie ocelových mostov podľa európskych noriem. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2013. ISBN 978-80-553-1614-7.
- [2] SCHINDLER, A., BUREŠ, J., PECHAR, J., Navrhování ocelových mostů. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1980.
- [3] BUJŇÁK, Ján, Kovové mosty. Žilina: Žilinská univerzita, 2005. ISBN 80-8070-361-2.
- [4] ČSN 73 6200 Mosty – Terminologie a třídění.
- [5] TP 42 – OPRAVY, OBNOVY A PŘESTAVBY OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ MOSTU.
- [6] ČSN EN 1991-2-Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou.
- [7] ČUMBALA, J., DRAHORÁD, M., a kol., Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87093-90-0.
- [8] ČSN EN 1991-1-4 Zaťaženie vetrom.
- [9] TOMICA, V., BUJNÁK, J., VIČAN, J, Kovové mosty. Skriptum Žilina: 1992. ISBN 80-7100-104-X.
- [10] ČSN EN 1991-1-8- Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků.
- [11] VIČAN, J., Kovové mosty, Příklady výpočtů. Bratislava: ALFA, 1987.
- [12] TOMICA, Vladimír, Příklady výpočtů železničních ocelových mostů. Bratislava: ALFA, 1981.
- [13] ROTTER, Tomáš, STUDNIČKA, Jiří, Ocelové konstrukce 30, Praha: ČVÚT, 2001.

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Přepočet příhradového trémového mostu, Strečno, Slovensko

PRÍLOHY

Študent:

Miroslav Kysela

Vedúci bakalárskej práce:

Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

Ostrava 2016

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha č.1

Pôvodná výkresová dokumentácia

Príloha č. 2

Výpis prvkov z programu Scia Engineer 15

Príloha č. 3

Tabuľka: najväčšie pomery šírky a hrúbky tlačенých častí

Príloha č. 4

Výkres č. 1. Pohľad, pozdĺžny rez	M1:00
Výkres č. 2. Pôdorys	M1:100
Výkres č. 3. Priečny rez v poli 5	M1:50
Výkres č. 4. Schéma hlavných častí mosta	M1:200
Výkres č. 5. Profily 1	M1:20
Výkres č. 6. Profily 2	M1:20
Výkres č. 7. Spoj priečnik - pozdĺžnik	M1:20

Príloha č. 5

Ručný výpočet posúvajúcich síl

Príloha č. 6

Tabuľky pre posudok prvkov hlavného nosníka

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Príloha č. :2

Študent:

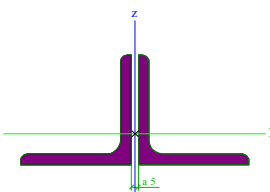
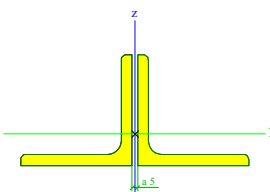
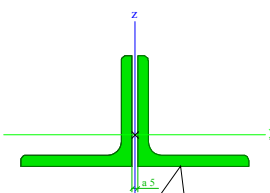
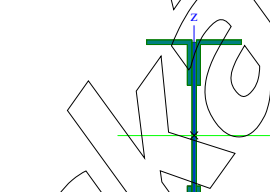
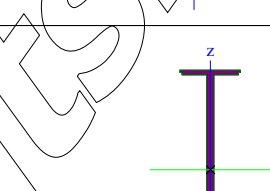
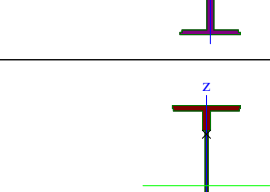
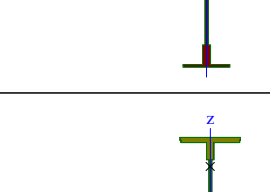
Miroslav Kysela

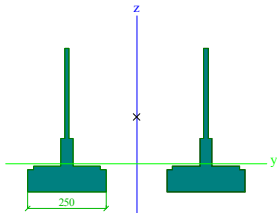
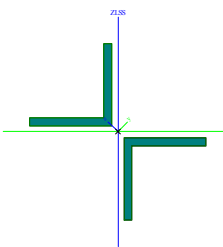
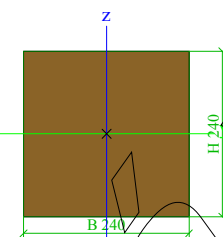
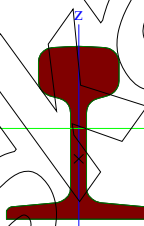
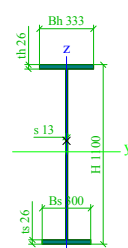
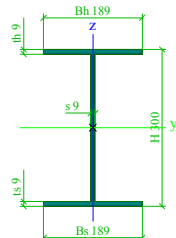
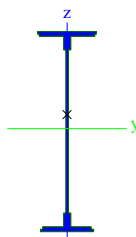
Vedúci bakalárskej práce:

Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

Ostrava 2016

Průřezy

>		>		>	
Studentská verze		*Studentská verze*		*Studentská verze*	
Jméno	Brzdné stužidlo		A [m²]	2.4556e-03	
Typ	2LT n		A y, z [m²]	1.5002e-03	1.1976e-03
Detailní	RSEA80/80/8; 5		I y, z [m⁴]	1.4473e-06	2.9891e-06
Materiál	S230		I w [m⁵], t [m⁴]	0.0000e+00	2.7370e-07
Výroba	válcovaný		Wel y, z [m³]	2.5195e-05	3.6231e-05
Posudek rovinného vzpěru y-y	c		Wpl y, z [m³]	4.5954e-05	6.1531e-05
Posudek rovinného vzpěru z-z	c		d y, z [mm]	0	0
Klopení	Výchozí		c YUSS, ZUSS [mm]	82	23
Použit 2D MKP výpočet	x		α [deg]	0.00	
			A L, D [m²/m]	6.2310e-01	6.2310e-01
		Mply +, - [Nm]	1.63e+04	1.63e+04	
		Mplz +, - [Nm]	2.18e+04	2.18e+04	
Jméno	Podmost. stužení 1		A [m²]	3.8428e-03	
Typ	2LT n		A y, z [m²]	2.3251e-03	1.8703e-03
Detailní	RSEA100/100/10; 5		I y, z [m⁴]	3.5623e-06	7.2054e-06
Materiál	S230		I w [m⁵], t [m⁴]	0.0000e+00	6.7826e-07
Výroba	válcovaný		Wel y, z [m³]	4.9676e-05	7.0296e-05
Posudek rovinného vzpěru y-y	c		Wpl y, z [m³]	9.0240e-05	1.1832e-04
Posudek rovinného vzpěru z-z	c		d y, z [mm]	0	0
Klopení	Výchozí		c YUSS, ZUSS [mm]	102	28
Použit 2D MKP výpočet	x		α [deg]	0.00	
			A L, D [m²/m]	7.8137e-01	7.8137e-01
		Mply +, - [Nm]	3.20e+04	3.20e+04	
		Mplz +, - [Nm]	4.20e+04	4.20e+04	
Jméno	Podmost. stužení 2		A [m²]	3.8428e-03	
Typ	2LT n		A y, z [m²]	2.3251e-03	1.8703e-03
Detailní	RSEA100/100/10; 5		I y, z [m⁴]	3.5623e-06	7.2054e-06
Materiál	S230		I w [m⁵], t [m⁴]	0.0000e+00	6.7826e-07
Výroba	válcovaný		Wel y, z [m³]	4.9676e-05	7.0296e-05
Posudek rovinného vzpěru y-y	c		Wpl y, z [m³]	9.0240e-05	1.1832e-04
Posudek rovinného vzpěru z-z	c		d y, z [mm]	0	0
Klopení	Výchozí		c YUSS, ZUSS [mm]	102	28
Použit 2D MKP výpočet	x		α [deg]	0.00	
			A L, D [m²/m]	7.8137e-01	7.8137e-01
		Mply +, - [Nm]	3.20e+04	3.20e+04	
		Mplz +, - [Nm]	4.20e+04	4.20e+04	
Jméno	Horné stužení		A [m²]	9.4860e-03	
Typ	Obecný průřez		A y, z [m²]	3.8517e-03	4.0980e-03
Materiál	S230		I y, z [m⁴]	2.0866e-04	1.0404e-05
Výroba	obecný		I w [m⁵], t [m⁴]	3.4261e-07	1.0066e-06
Posudek rovinného vzpěru y-y	d		Wel y, z [m³]	1.0982e-03	1.1010e-04
Posudek rovinného vzpěru z-z	d		Wpl y, z [m³]	1.3187e-03	1.9412e-04
Klopení	Výchozí		d y, z [mm]	0	0
Použit 2D MKP výpočet	✓		c YUSS, ZUSS [mm]	-301	218
			α [deg]	0.00	
			A L, D [m²/m]	1.5180e+00	1.5180e+00
		Mply +, - [Nm]	4.68e+05	4.68e+05	
		Mplz +, - [Nm]	6.89e+04	6.89e+04	
Jméno	příček		A [m²]	5.7473e-02	
Typ	Obecný průřez		A y, z [m²]	1.9499e-02	4.0257e-02
Materiál	S230		I y, z [m⁴]	8.4905e-03	1.5160e-04
Výroba	obecný		I w [m⁵], t [m⁴]	4.1693e-05	2.3445e-05
Posudek rovinného vzpěru y-y	d		Wel y, z [m³]	1.5508e-02	9.1052e-04
Posudek rovinného vzpěru z-z	d		Wpl y, z [m³]	1.9587e-02	1.7542e-03
Klopení	Výchozí		d y, z [mm]	0	0
Použit 2D MKP výpočet	✓		c YUSS, ZUSS [mm]	-151	67
			α [deg]	0.00	
			A L, D [m²/m]	3.4440e+00	3.4440e+00
		Mply +, - [Nm]	6.95e+06	6.95e+06	
		Mplz +, - [Nm]	6.23e+05	6.23e+05	
Jméno	pozdí žník vnitř. 800		A [m²]	2.1640e-02	
Typ	Obecný průřez		A y, z [m²]	9.3048e-03	1.0844e-02
Materiál	S230		I y, z [m⁴]	2.0875e-03	4.7321e-05
Výroba	obecný		I w [m⁵], t [m⁴]	3.3819e-06	3.3576e-06
Posudek rovinného vzpěru y-y	d		Wel y, z [m³]	4.3218e-03	3.3722e-04
Posudek rovinného vzpěru z-z	d		Wpl y, z [m³]	6.0386e-03	6.0401e-04
Klopení	Výchozí		d y, z [mm]	0	211
Použit 2D MKP výpočet	✓		c YUSS, ZUSS [mm]	-390	118
			α [deg]	-0.02	
			A L, D [m²/m]	2.5460e+00	2.5460e+00
		Mply +, - [Nm]	2.14e+06	2.14e+06	
		Mplz +, - [Nm]	2.14e+05	2.14e+05	
Jméno	pozdí žník vonk. 910		A [m²]	2.3057e-02	
Typ	Obecný průřez		A y, z [m²]	9.3342e-03	1.2119e-02
Materiál	S230		I y, z [m⁴]	2.8216e-03	4.7341e-05
Výroba	obecný		I w [m⁵], t [m⁴]	4.3809e-06	3.4309e-06
Posudek rovinného vzpěru y-y	d		Wel y, z [m³]	5.1973e-03	3.3735e-04
Posudek rovinného vzpěru z-z	d		Wpl y, z [m³]	7.2565e-03	6.0861e-04
Klopení	Výchozí		d y, z [mm]	0	246
Použit 2D MKP výpočet	✓		c YUSS, ZUSS [mm]	-260	144
			α [deg]	-0.01	
			A L, D [m²/m]	2.7640e+00	2.7640e+00
		Mply +, - [Nm]	2.58e+06	2.58e+06	
		Mplz +, - [Nm]	2.16e+05	2.16e+05	

>		>		>	
Studentská verze		*Studentká verze*		*Studentká verze*	
Jméno	S26			A [m ⁴]	5.5944e-02
Typ	Obecný průřez			A y, z [m ²]	4.2351e-02
Materiál	S230			I y, z [m ⁴]	6.1048e-04
Výroba	obecný			I w [m ⁶], t [m ⁴]	3.8898e-05
Posudek rovinného vzpěru y-y	d			Wel y, z [m ³]	1.6483e-03
Posudek rovinného vzpěru z-z	d			Wpl y, z [m ³]	3.5618e-03
Klopení	Výchozí			d y, z [mm]	0
Použit 2D MKP výpočet	✓			c YUSS, ZUSS [mm]	36
				α [deg]	0.00
				A L, D [m ² /m]	2.8480e+00
				Mply +, - [Nm]	8.37e+05
				Mplz +, - [Nm]	2.93e+06
Jméno	H. výstuha 2L			A [m ⁴]	2.4320e-03
Typ	Obecný průřez			A y, z [m ²]	2.0328e-03
Materiál	S230			I y, z [m ⁴]	4.6773e-06
Výroba	obecný			I YLSS, ZLSS [m ⁴]	3.5125e-06
Posudek rovinného vzpěru y-y	d			I w [m ⁶], t [m ⁴]	5.1349e-10
Posudek rovinného vzpěru z-z	d			Wel y, z [m ³]	6.6147e-05
Klopení	Výchozí			Wpl y, z [m ³]	9.9561e-05
Použit 2D MKP výpočet	✓			d y, z [mm]	0
				c YUSS, ZUSS [mm]	-5
				α [deg]	45.00
Jméno	moštnica			IY LSS [m ⁴]	-1.1648e-06
Typ	OBDEL			A L, D [m ² /m]	6.4000e-01
Detailní	240; 240			Mply +, - [Nm]	2.34e+04
Materiál	D50-dub			Mplz +, - [Nm]	1.54e+04
Výroba	dřevo			A [m ⁴]	5.7600e-02
Použit 2D MKP výpočet	✓			A y, z [m ²]	4.8000e-02
				I y, z [m ⁴]	2.7648e-04
				I w [m ⁶], t [m ⁴]	2.4103e-08
				Wel y, z [m ³]	2.3040e-03
				Wpl y, z [m ³]	3.5146e-03
Jméno	kofajnica			d y, z [mm]	0
Typ	Obecný průřez			c YUSS, ZUSS [mm]	-135
Materiál	S230			α [deg]	0.00
Výroba	obecný			A L, D [m ² /m]	5.9974e-01
Posudek rovinného vzpěru y-y	d			Mply +, - [Nm]	6.65e+04
Posudek rovinného vzpěru z-z	d			Mplz +, - [Nm]	2.34e+04
Klopení	Výchozí			A [m ⁴]	5.8714e-03
Použit 2D MKP výpočet	✓			A y, z [m ²]	5.1923e-03
				I y, z [m ⁴]	1.7033e-05
				I w [m ⁶], t [m ⁴]	8.8428e-09
Jméno	priečník s nábehom			Wel y, z [m ³]	2.1784e-04
Typ	I ng			Wpl y, z [m ³]	2.8309e-04
Detailní	1100; 333; 300; 26; 26; 13			d y, z [mm]	0
Materiál	S230			c YUSS, ZUSS [mm]	167
Výroba	obecný			α [deg]	0.00
Posudek rovinného vzpěru y-y	d			A L, D [m ² /m]	3.4400e+00
Posudek rovinného vzpěru z-z	d			Mply +, - [Nm]	2.91e+06
Klopení	Výchozí			Mplz +, - [Nm]	3.17e+05
Použit 2D MKP výpočet	✓			A [m ⁴]	3.0082e-02
				A y, z [m ²]	1.5038e-02
Jméno	homé stuženie nábeh			I y, z [m ⁴]	5.9868e-03
Typ	I ng			I w [m ⁶], t [m ⁴]	3.8963e-05
Detailní	300; 189; 189; 9; 9; 9			Wel y, z [m ³]	1.0590e-02
Materiál	S230			Wpl y, z [m ³]	1.2393e-02
Výroba	obecný			d y, z [mm]	0
Posudek rovinného vzpěru y-y	d			c YUSS, ZUSS [mm]	95
Posudek rovinného vzpěru z-z	d			α [deg]	0.00
Klopení	Výchozí			A L, D [m ² /m]	1.3380e+00
Použit 2D MKP výpočet	✓			Mply +, - [Nm]	1.58e+05
				Mplz +, - [Nm]	3.91e+04
Jméno	priečník bez nábehu			A [m ⁴]	3.3813e-02
Typ	Obecný průřez			A y, z [m ²]	1.6670e-02
Materiál	S230			I y, z [m ⁴]	7.1300e-03
Výroba	obecný			I w [m ⁶], t [m ⁴]	3.6327e-05
Posudek rovinného vzpěru y-y	d			Wel y, z [m ³]	1.2327e-02
Posudek rovinného vzpěru z-z	d			Wpl y, z [m ³]	1.4447e-02
Klopení	Výchozí			d y, z [mm]	0
Použit 2D MKP výpočet	✓			c YUSS, ZUSS [mm]	22
				α [deg]	0.00
				A L, D [m ² /m]	3.4920e+00
				Mply +, - [Nm]	3.40e+06
				Mplz +, - [Nm]	3.08e+05

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Príloha č. :3

Študent:

Miroslav Kysela

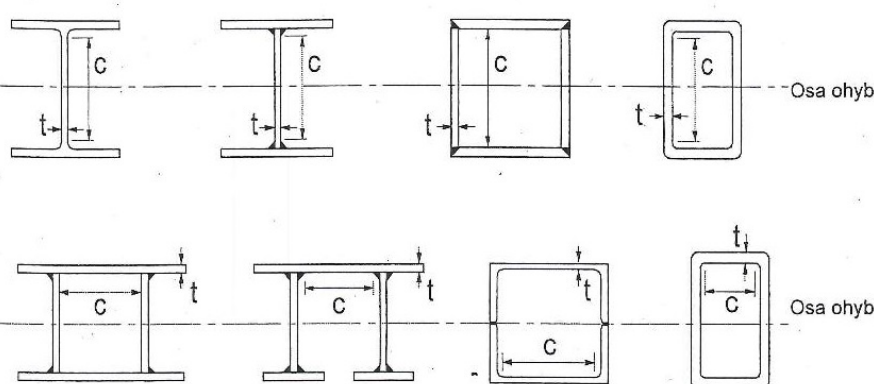
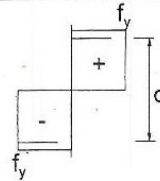
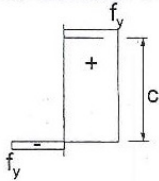
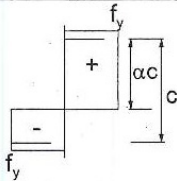
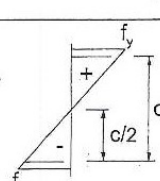
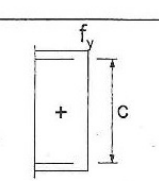
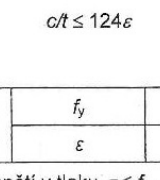
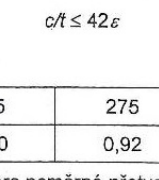
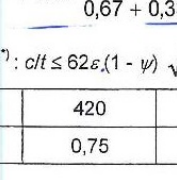
Vedúci bakalárskej práce:

Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

Ostrava 2016

Príloha č. 3

Tabuľka 5.2 (list 1 z 3) – Najväčší pomery šírky a tloušťky tlačenej časti

Vnútorné tlačenej časti						
						
Trieda prúrezu	Ohýbaná časť	Tlačená časť	Tlačená a ohýbaná časť			
1						
			$\alpha > 0,5 : c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ $\alpha \leq 0,5 : c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$			
2			$\alpha > 0,5 : c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ $\alpha \leq 0,5 : c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$			
3						
			$\psi > -1 : c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ $\psi \leq -1 : c/t \leq 62\varepsilon(1 - \psi) \sqrt{(-\psi)}$			
$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

*) $\psi \leq -1$ platí pro napětí v tlaku $\sigma \leq f_y$, nebo pro poměrné přetvoření $\varepsilon_y > f_y / E$

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Príloha č. :5

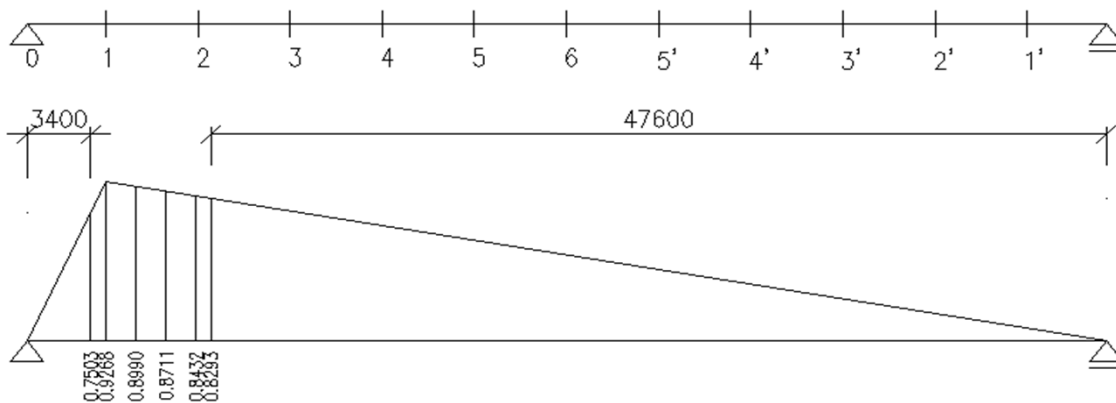
Študent:

Miroslav Kysela

Vedúci bakalárskej práce:

Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

Ostrava 2016



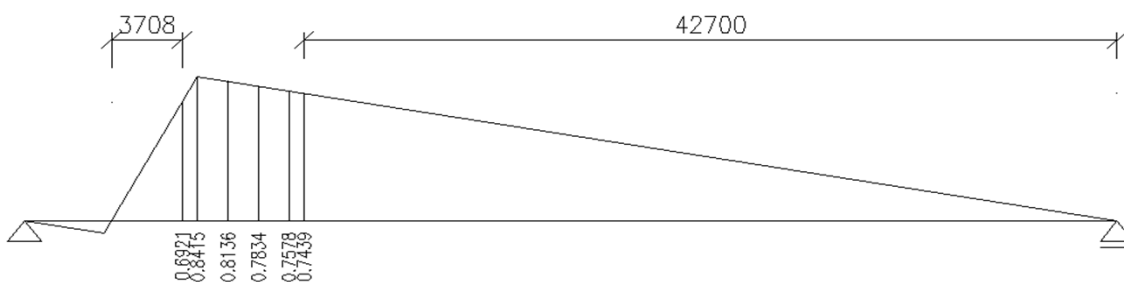
Pole

Pole 0 - 1	pořadnice	zaťaženie [kN]	Hodnota pôúvajúcej sily [kN]
Jednotlivé sily	0.9268	246.75149	228.69
	0.899		221.83
	0.8711		214.95
	0.8432		208.06

Pole 0 - 1	pořadnice	priem. pořadnice	zaťaženie [kN/m]	dĺžka oblasti	Hodnota pôúvajúcej sily [kN]
spojité	0.7503	0.3752	78.96047521	3.4	100.71
zaťaženie	0.8293	0.4147		47.6	1558.47

Súčet posúvajúcich síl poli

2532.71 kN



Pole

Pole 1 - 2	pořadnice	zaťaženie [kN]	Hodnota pôúvajúcej sily [kN]
Jednotlivé sily	0.8415	246.75149	207.64
	0.8136		200.76
	0.7834		193.31
	0.7578		186.99

Pole 1 - 2	pořadnice	priem. pořadnice	zaťaženie [kN/m]	dĺžka oblasti	Hodnota pôúvajúcej sily [kN]
spojité	0.6921	0.3461	78.96047521	3.7	101.10

zaťaženie	0.7439	0.3720	78.96047521	42.7	1254.07
-----------	--------	--------	-------------	------	---------

Súčet posúvajúcich síl poli **2143.86** kN

Pole

Pole 2 -3	pořadnice	zaťaženie [kN]	Hodnota pouívajúcej sily [kN]
Jednotlivé sily	0.7561	246.75149	186.57
	0.7276		179.54
	0.7003		172.80
	0.6725		165.94

Pole 2 - 3	pořadnice	priem. pořadnice	zaťaženie [kN/m]	dĺžka oblasti	Hodnota pouívajúcej sily [kN]
spojité zaťaženie	0.6068 0.6585	0.3034 0.3293	78.96047521	3.251 37.8	77.88 982.71

Súčet posúvajúcich síl poli **1765.44** kN

Pole

Pole 3 -4	pořadnice	zaťaženie [kN]	Hodnota pouívajúcej sily [kN]
Jednotlivé sily	0.6707	246.75149	165.50
	0.6429		158.64
	0.615		151.75
	0.5871		144.87

Pole 3 - 4	pořadnice	priem. pořadnice	zaťaženie [kN/m]	dĺžka oblasti	Hodnota pouívajúcej sily [kN]
spojité zaťaženie	0.5214 0.5732	0.2607 0.2866	78.96047521	2.793 32.459	57.49 734.55

Súčet posúvajúcich síl poli **1412.80** kN

Pole

Pole 4 -5	pořadnice	zaťaženie [kN]	Hodnota pouívajúcej sily [kN]
Jednotlivé sily	0.5854	246.75149	144.45
	0.5575		137.56
	0.5296		130.68
	0.5017		123.80

Pole 4 - 5	pořadnice	priem. pořadnice	zaťaženie [kN/m]	dĺžka oblasti	Hodnota pouívajúcej sily [kN]
spojité	0.436	0.2180	78.96047521	2.336	40.21

zaťaženie	0.4878	0.2439	78.96047521	28	539.24
-----------	--------	--------	-------------	----	--------

Súčet posúvajúcich síl poli **1115.93**

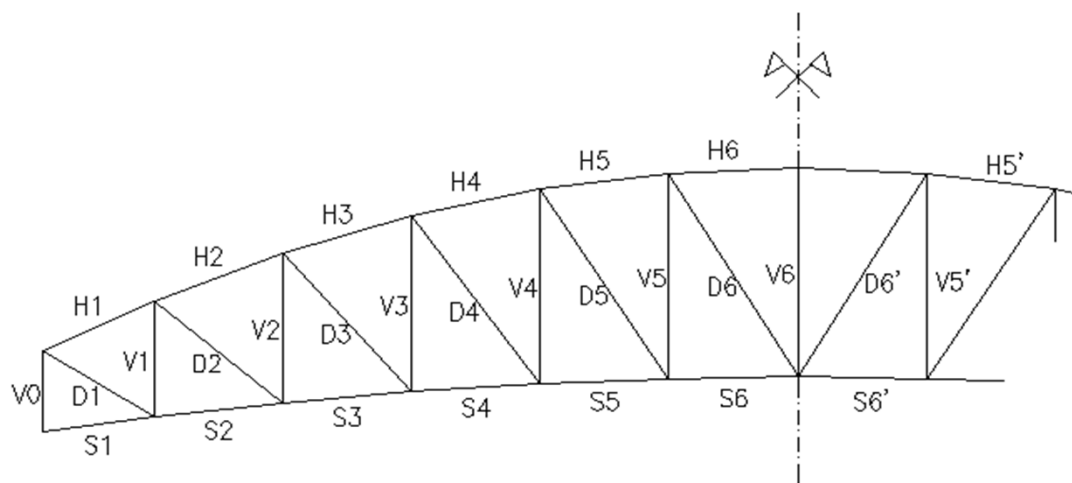
Pole

Pole 5 -6	pořadnice	zaťaženie [kN]	Hodnota používajúcej sily [kN]
Jednotlivé sily	0.5	246.75149	123.38
	0.4721		116.49
	0.4443		109.63
	0.4164		102.75

Pole 5 - 6	pořadnice	priem. pořadnice	zaťaženie [kN/m]	dĺžka oblasti	Hodnota používajúcej sily [kN]
spojité zaťaženie	0.3507	0.1754	78.96047521	1.879	26.02
	0.4024	0.2012		23.1	366.99

Súčet posúvajúcich síl poli **845.25**

Výpočet vnútorných síl zo zjednodušeného prostého nosníka a jeho vnútorných síl



Z celkových ohybových momentov sa vypočítajú vnútorné sily v priehradovom ráme

Výpočet osových síl v pásoch

$$S_{Ed,i} = -H_{Ed,i} \frac{M_{Ed,i}}{h}$$

Spodný pás	Horný pás	výška h [m]	Normálová sila [kN]
$S_{ed,1}$	$-H_{ed,1}$	4.16	3388.49
$S_{ed,2}$	$-H_{ed,2}$	5.61	4916.27
$S_{ed,3}$	$-H_{ed,3}$	6.87	5550.39

$S_{ed,4}$	$-H_{ed,4}$	7.82	5839.49
$S_{ed,5}$	$-H_{ed,5}$	8.45	5938.11
$S_{ed,6}$	$-H_{ed,6}$	8.76	5897.17

Výpočet osových síl v diagonálach

$$D_{Ed,i} = \pm \frac{Q_{i-1,i}}{\sin \alpha}$$

	posúvajúca sila			uhol α [°]	Normálová
	$Q_{g,i}$	$Q_{p,i}$	$Q_{i-1,i}$		sila [kN]
$D_{Ed,1}$	820.81	2532.71	3353.51	42	5011.749
$D_{Ed,2}$	671.57	2143.86	2815.43	48	3788.536
$D_{Ed,3}$	522.33	1765.44	2287.77	56	2759.554
$D_{Ed,4}$	373.09	1412.80	1785.89	59	2083.478
$D_{Ed,5}$	223.86	1115.93	1339.79	61	1531.855
$D_{Ed,6}$	74.62	845.25	919.87	61	1051.734

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Príloha č. :6

Študent:

Miroslav Kysela

Vedúci bakalárskej práce:

Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

Ostrava 2016

tabuľka Posudok tlačných prvkov

Názov	rovina	N_{ed} [kN]	dĺžka [mm]	L_{cr} kritická dĺžka [mm]	I [mm ⁴]	i [mm]	A [mm ²]	λ	λ_1	$\bar{\lambda}$	krivka vzpernosti	súčiniteľ	ϕ	χ	N_{cr} [kN]	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{ed}/N_{b,Rd}$
V0	y	4857.32	3430	3430	9.59E-04	121	6.53E-02	28.31	94.92	0.298	c	0.49	0.569	0.950	168876.1	14268.7	0.34
	z	4857.32	3430	3430	2.97E-03	213	6.53E-02	16.08	94.92	0.169	c	0.49	0.507	1.016	523223.5	15254.3	0.32
V1	y	2881.16	4898	4898	7.26E-05	63	1.84E-02	78.02	94.92	0.822	c	0.49	0.990	0.648	6270.0	2746.2	1.05
	z	2881.16	4898	4898	4.84E-04	162	1.84E-02	30.22	94.92	0.318	c	0.49	0.580	0.940	41797.2	3980.5	0.72
V2	y	1862.12	6318	6318	7.26E-05	63	1.84E-02	100.64	94.92	1.060	c	0.49	1.273	0.506	3768.3	2142.3	0.87
	z	1862.12	6318	6318	4.84E-04	162	1.84E-02	38.98	94.92	0.411	c	0.49	0.636	0.892	25120.9	3776.8	0.49
V3	y	1175.94	7423	7423	7.26E-05	63	1.84E-02	118.25	94.92	1.246	c	0.49	1.532	0.413	2729.9	1747.3	0.67
	z	1175.94	7423	7423	4.84E-04	162	1.84E-02	45.80	94.92	0.482	c	0.49	0.686	0.853	18198.5	3611.9	0.33
H1	y	4323.43	4697	4697	6.38E-04	150	2.85E-02	31.41	94.92	0.331	c	0.49	0.587	0.933	59934.7	9450.9	0.46
	z	4323.43	15151	15151	1.47E-03	227	2.85E-02	66.73	94.92	0.703	c	0.49	0.870	0.723	13275.2	7319.1	0.59
H2	y	6393.45	5305	5305	7.94E-04	146	3.71E-02	36.26	94.92	0.382	c	0.49	0.618	0.907	58496.2	11944.4	0.54
	z	6393.45	15151	15151	1.78E-03	219	3.71E-02	69.13	94.92	0.728	c	0.49	0.895	0.707	16089.6	9313.5	0.69
H3	y	7330.86	5149	5149	9.15E-04	141	4.57E-02	36.39	94.92	0.383	c	0.49	0.618	0.906	71495.8	14694.5	0.50
	z	7330.86	15151	15151	2.09E-03	214	4.57E-02	70.78	94.92	0.746	c	0.49	0.912	0.696	18899.4	11291.4	0.65
H4	y	7778.51	5029	5029	9.15E-04	141	4.57E-02	35.54	94.92	0.374	c	0.49	0.613	0.911	74948.5	14770.3	0.53
	z	7778.51	5029	5029	2.09E-03	214	4.57E-02	23.49	94.92	0.248	c	0.49	0.542	0.976	171540.4	15825.9	0.49
H5	y	7860.78	4947	4947	9.15E-04	141	4.57E-02	34.96	94.92	0.368	c	0.49	0.609	0.914	77453.8	14822.0	0.53
	z	7860.78	4947	4947	2.09E-03	214	4.57E-02	23.11	94.92	0.243	c	0.49	0.540	0.978	177274.4	15859.2	0.50
H6	y	7820.49	4905	4905	9.15E-04	141	4.57E-02	34.67	94.92	0.365	c	0.49	0.607	0.916	78785.9	14848.5	0.53
	z	7820.49	4905	4905	2.09E-03	214	4.57E-02	22.91	94.92	0.241	c	0.49	0.539	0.979	180323.3	15876.2	0.49

tabuľka Posudok prvkov na ťah

Názov	N _{ed} [kN]	L [mm]	A[m ²]	f _{yd} [MPa]	I [mm]	λ	N _{b,Rd} [kN]	N _{ed} / N _{b,Rd}
S1	2415.87	4248	1.99E-02	230	119	35.70	4587.1	0.53
S2	4554.65	4938	2.89E-02	230	115	42.94	6657.1	0.68
S3	6639.45	4923	4.69E-02	230	107	46.01	10797.1	0.61
S4	7681.83	4912	5.59E-02	230	104	47.23	12867.1	0.60
S5	8325.60	4904	5.59E-02	230	104	47.15	12867.1	0.65
S5	8684.94	4900	5.59E-02	230	104	47.12	12867.1	0.67
D1	4387.31	5045	2.82E-02	230	108	46.71	6495.2	0.68
D2	2765.73	6509	2.18E-02	230	83	78.42	5021.4	0.55
D3	1739.30	7624	2.18E-02	230	54	141.19	5021.4	0.35
D4	1188.08	8612	1.23E-02	230	49	175.76	2832.7	0.42
D5	792.57	8612	1.24E-02	230	52	165.62	2852.0	0.28
D6	425.17	9912	1.24E-02	230	55	180.22	2852.0	0.15
V4	732.10	8211	1.84E-02	230	162	50.66	4235.7	0.17
V5	396.87	8684	1.84E-02	230	162	53.58	4235.7	0.09
V6	393.03	8842	1.84E-02	230	162	54.55	4235.7	0.09